

Aus dem
Medizinischen Zentrum für Zahn-, Mund- und Kieferheilkunde
der Philipps-Universität Marburg
in Zusammenarbeit mit dem Universitätsklinikum
Gießen und Marburg GmbH, Standort Marburg
Geschäftsführender Direktor: Prof. Dr. U. Lotzmann
Klinik für Zahnerhaltungskunde
Direktor: Prof. Dr. V. Stachniss

Untersuchung zur Anwendbarkeit der maschinellen Wurzel- kanalaufbereitung im Phantomkurs der Zahnerhaltung

Inaugural-Dissertation
zur Erlangung des Doktorgrades der Zahnheilkunde

dem Fachbereich Humanmedizin der
Philipps-Universität Marburg
vorgelegt

von
Dr. med. Andreas Marheine
aus Stuttgart

Marburg 2006

Angenommen vom Fachbereich Humanmedizin
der Philipps-Universität Marburg am 14. Dezember 2006.
Gedruckt mit Genehmigung des Fachbereichs

Dekan:	Prof. Dr. B. Maisch
Referent:	Prof. Dr. V. Stachniss
Korreferent::	Prof. Dr. M. Gente

Meinen lieben Eltern

Inhaltsverzeichnis

1. Einleitung und Problemstellung	1
2. Literaturübersicht	3
2.1. Wurzelkanalaufbereitung	3
2.1.1. Indikationen und Prinzipien	3
2.1.2. Anatomie	4
2.1.3. Anforderungen.....	4
2.1.4. Präparationsfehler bei der Aufbereitung gekrümmter Kanäle.....	5
2.1.5. Lehre	6
2.2. Instrumentarium und Aufbereitungsverfahren.....	7
2.2.1. Edelstahl-Legierungen.....	7
2.2.1.1. Manuelle Wurzelkanalaufbereitung mit Edelstahl-Instrumenten	7
2.2.1.2. Maschinelle Wurzelkanalaufbereitung mit Edelstahl-Instrumenten	9
2.2.2. Nickel-Titan-Legierungen	9
2.2.2.1. Manuelle Wurzelkanalaufbereitung	10
2.2.2.2. Maschinelle Wurzelkanalaufbereitung.....	10
2.2.3. Vergleichende Untersuchungen verschiedener Aufbereitungssysteme	12
2.2.3.1. Edelstahl-Instrumente im Vergleich.....	12
2.2.3.2. Edelstahl manuell – NiTi manuell	12
2.2.3.3. Edelstahl manuell – NiTi maschinell.....	13
2.2.3.4. Edelstahl maschinell – NiTi maschinell	14
2.2.3.5. NiTi-Instrumente im Vergleich	14
2.2.4. Aufbereitung mit Schall-, Ultraschall- und Lasersystemen	16
2.2.4.1. Schall- und Ultraschallsysteme	16
2.2.4.2. Laser	17

2.2.5. Spüllösungen	17
2.2.5.1. Natriumhypochlorid (NaOCl)	18
2.2.5.2. Wasserstoffperoxid (H ₂ O ₂)	18
2.2.5.3. Chlorhexidin (CHX).....	18
2.2.5.4. Chelatoren / EDTA	18
2.2.6. Behandler mit unterschiedlichem Erfahrungsstand.....	19
2.3. Testverfahren und Auswertung	20
2.3.1. Natürliche Zähne – Simulierte Wurzelkanäle	20
2.3.2. Fotografische Dokumentation, elektronische Auswertung	21
2.3.3. Zerstörende Untersuchung mittel optischer Vergrößerung	22
2.3.4. Radiologische Auswertung	22
2.3.5. Statistische Verfahren.....	23
3. Zielsetzung.....	25
4. Material und Methode.....	27
4.1. Versuchsdesign.....	27
4.2. Methode	28
4.2.1. Behandler	28
4.2.2. Prüfkörper	28
4.2.3. Vorbereitung und planimetrische Erfassung der Prüfkörper	28
4.2.4. Bearbeitung der Prüfkörper.....	29
4.2.4.1. Handaufbereitung	29
4.2.4.2. Maschinelle Aufbereitung	30
4.2.5. Erfassung und Vorbereitung der Daten.....	31
4.2.5.1. Bilderfassung.....	31
4.2.5.2. Bildbearbeitung.....	31
4.2.5.3. Projektion von Maßstäben.....	32
4.2.5.4. Messung der Kanaltransportation.....	33
4.2.5.5. Erfassung der Daten.....	33

4.2.6.	Auswertung der Daten.....	34
4.2.6.1.	Elektronische Auswertung der Messdaten	34
4.2.6.2.	Statistische Auswertung.....	39
5.	Ergebnisse	41
5.1.	Auftreten von Formveränderungen bei der Aufbereitung.....	41
5.1.1.	Übersicht über das Auftreten der Formveränderungen	42
5.1.2.	Auftreten eines „zip“	43
5.1.3.	Auftreten eines „elbow“	43
5.1.4.	Auftreten eines „ledge“	44
5.1.5.	Auftreten einer „transportation“	45
5.2.	Kanaltransportation.....	45
5.3.	Apikale Situation nach Aufbereitung	47
5.4.	Krümmungseigenschaften	49
5.4.1.	Durchschnittliche Krümmung Innenkurvatur.....	49
5.4.2.	Durchschnittliche Krümmung Außenkurvatur	50
5.4.3.	Maximale Krümmung der inneren Kurvatur	51
5.4.4.	Maximale Krümmung der Außenseite	53
5.5.	Ergebnis der Nullhypothesen.....	55
5.6.	Auswertung der Aufbereitungszeit	56
5.7.	Auswertung der Fragebögen	57
6.	Diskussion.....	59
6.1.	Material und Methode	60
6.1.1.	Behandler	60
6.1.2.	Materialauswahl.....	60
6.1.2.1.	Aufbereitungsinstrumente	60
6.1.2.2.	Kunststoffprobekörper.....	61

6.1.3. Erfassungs- und Untersuchungsmethoden.....	62
6.1.3.1. Morphologische Untersuchung der Wurzelkanalaufbereitung	62
6.1.3.2. Quantitative Untersuchung der Kanaltransportation	63
6.1.3.3. Metrische Auswertung der Krümmungseigenschaften	65
6.2. Ergebnisse	65
6.2.1. Formveränderungen	65
6.2.1.1. Auftreten von Zip, Elbow und Ledge-Aberrationen	65
6.2.1.2. Auftreten von Kanalverlagerungen (Transportation).....	66
6.2.2. Apikale Situation	67
6.2.3. Krümmungseigenschaften	67
6.2.4. Aufbereitungszeit	69
6.2.5. Fragebögen.....	69
6.3. Schlussfolgerung.....	71
7. Zusammenfassung.....	73
7.1. Marburger Bibliographie	77
7.2. Abstract deutsch	78
7.3. Abstract english.....	79
8. Literaturverzeichnis	81
9. Anhang.....	99
9.1. Materialverzeichnis.....	99
9.2. Curriculum vitae	101
9.3. Akademische Lehrer	103
9.4. Danksagung	104
9.5. Ehrenwörtliche Erklärung	105

1. Einleitung und Problemstellung

In der modernen Zahnheilkunde nimmt die Wurzelkanalbehandlung einen festen Platz ein. Sie stellt bei richtiger Indikationsstellung und regelrechter Durchführung einen wesentlichen Bestandteil zur Erhaltung eines natürlichen Kauorgans bis an das Lebensende dar.

Ein entscheidender Schritt für eine erfolgreiche Wurzelkanalbehandlung ist die exakte Aufbereitung des Wurzelkanalsystems. Dabei ist mit Sicht auf den gewünschten Langzeiterfolg die kumulative Wirkung von Instrumentation und Desinfektion von besonderer Bedeutung. Vor allem die Aufbereitung der komplexen Struktur gekrümmter Wurzelkanäle der Seitenzähne erfordert ein hohes Maß an Geduld und Geschick des Behandlers.

Auch an das Instrumentarium müssen besondere Anforderungen gestellt werden. Wegen des großen Zeitaufwandes der manuellen Wurzelkanalaufbereitung wurden bereits Ende des 19. Jahrhunderts maschinelle Systeme entwickelt, die jedoch erst Mitte des letzten Jahrhunderts eine weitere Verbreitung in Deutschland erreichten. Die geringe Flexibilität konventioneller Aufbereitungsinstrumente aus Edelstahllegierungen wird häufig als Ursache für Formveränderungen des ursprünglichen Kanalverlaufes genannt.

In den letzten Jahren sind Instrumente entwickelt worden, die aufgrund ihrer hohen Flexibilität und ihres speziellen Designs die Veränderung der Wurzelkanäle in ihrem dreidimensionalen Verlauf bei der Aufbereitung minimieren können. Die entscheidende Neuerung stellt dabei die verwendete Legierung Nickel-Titan dar. Diese hochflexible Legierung ermöglicht bei entsprechendem Instrumentendesign, gebogene Wurzelkanäle bei vollrotierender Arbeitsweise formhaltend aufzubereiten.

In diesem Zusammenhang war es das Ziel dieser Arbeit, die Qualität der Aufbereitung gekrümmter Wurzelkanäle in vitro durch ungeübte Behandler mit verschiedenen Aufbereitungsinstrumenten zu untersuchen. Die Kanalverläufe vor und nach Aufbereitung wurden mathematisch erfasst und ausgewertet. Dabei wurden ein manuelles und zwei maschinell betriebene Nickel-Titan-Systeme im Vergleich zu einem manuellen Edelstahl-System vergleichend untersucht.

2. Literaturübersicht

2.1. Wurzelkanalaufbereitung

Die klassische Wurzelkanalbehandlung besteht aus den Schritten chemomechanische Aufbereitung und bakteriendichte Obturation. Der Schwerpunkt dieser Literaturübersicht liegt im Bereich der Aufbereitung, welche die Basis der vorliegenden Untersuchungen darstellt.

2.1.1. Indikationen und Prinzipien

Entzündungen des Markorgans des Zahnes (Pulpitiden) können durch Bakterien, durch physikalische, chemische und toxische Einwirkungen ausgelöst werden. Die Schädigung der Pulpa mit oder ohne Beteiligung des periradikulären Gewebes stellt die hauptsächliche Indikation für eine Wurzelkanalbehandlung dar. Die Dentinkaries ist dabei die häufigste Ursache (Heidemann, 2001; Schroeder, 1992 und 1997). Die Notwendigkeit zur Verankerung eines Wurzelstiftes sowie ästhetische und funktionelle Gründe können eine Wurzelkanalbehandlung ebenso erforderlich machen (Schäfer et al., 2000). Bei Ausbleiben des gewünschten Erfolges einer Wurzelkanalbehandlung kann eine Revision derselben indiziert sein (Ketterl, 1994; Imura, 2000; Hülsmann, 2004).

Die Qualitätsrichtlinien der Aufbereitung des Wurzelkanalsystems werden im Konsenspapier der European Society of Endodontology von 1994 zusammengefasst:

Ziele der Wurzelkanalaufbereitung:

- Entfernung des verbliebenen Pulpagewebes,
- Eliminierung der Mikroorganismen,
- Entfernung von Debris,
- eine adäquate Wurzelkanalfüllung ermöglichende Formgebung des Wurzelkanals.

Anforderungen an eine Wurzelkanalaufbereitung:

- der präparierte Kanal sollte den ursprünglichen Kanal umschließen,
- die apikale Konstriktion sollte erhalten bleiben,

- der Kanal sollte sich nach apikal verengen,
- der Kanal sollte von koronal nach apikal konisch zulaufen.

Die Präparation ist unter ausreichender Spülung vorzunehmen. Die endgültige Aufbereitungslänge sollte mit der vorher festgelegten Arbeitslänge übereinstimmen.

2.1.2. Anatomie

Die Anatomie des Wurzelkanalsystems der Zähne ist aufgrund der hohen Individualität sehr komplex. Große Unterschiede in Anzahl, Form und Ausdehnung der Kanäle wie Krümmungen, Seitenkanäle, Ausbuchtungen und Anastomosen wurden schon seit Beginn des 20. Jahrhunderts präzise beschrieben (Hess, 1917; Meyer et al., 1954).

Des Weiteren ist zu bemerken, dass das Endodont über die Dentintubuli bis an die Schmelz-Dentingrenze reicht und eine Kommunikation zwischen Mundhöhle und Pulpa bereits bei freiliegendem Dentin bestehen kann. Es liegt somit ein sehr variables räumliches System vor (Schroeder, 1997).

Durch Alterung und Irritationen des Dentins tritt eine Dentinsklerosierung (Bildung von Sekundär- bzw. Tertiärdentin) auf, welche die anatomische Struktur der Wurzelkanalsysteme verändert (Benzer, 1948; Silverstone et al., 1985).

2.1.3. Anforderungen

Schilder beschrieb 1974 bereits ausführlich die Anforderungen an eine Wurzelkanalaufbereitung:

- Eine Erweiterung des Foramen apicale muss unter allen Umständen vermieden werden.
- Das Foramen apicale muss in seiner natürlichen Lage belassen werden.
- Der Kanal ist kontinuierlich konisch aufzubereiten.
- Durch die Aufbereitung muss genügend Raum für die medikamentöse Einlage und die spätere Wurzelfüllung geschaffen werden.
- Die Reinigung und Aufbereitung des Kanals soll in einer Sitzung beendet werden.

Diese Anforderungen werden in der gegenwärtigen Endodontie aufgegriffen und erweitert. Derzeit werden die Ziele einer Wurzelkanalaufbereitung wie folgt beschrieben (Kröncke, 1981; Schäfer et al., 2000; Heidemann, 2001; Cohen, 2002):

- Entfernung des vitalen oder nekrotischen Pulpagewebes;
- Eliminierung der Mikroorganismen, wobei bei Zähnen mit einer infizierten Pulpanekrose das Wurzelkanalwanddentin als infiziert angesehen werden muss;
- Beibehaltung des originären Wurzelkanalverlaufs, das heißt der aufbereitete Wurzelkanal sollte den ursprünglichen Kanal umschließen;
- Konische Gestaltung des aufbereiteten Wurzelkanals von apikal nach koronal, wobei die engste Stelle am apikalen Endpunkt des Wurzelkanals liegen sollte, ohne dabei durch einen übermäßigen Materialabtrag die Wurzel unnötig zu schwächen;
- Übereinstimmung der endgültigen Aufbereitungslänge mit der vorher festgelegten Arbeitslänge;
- Vermeidung einer Überinstrumentierung, also ein Durchstoßen und Erweitern der apikalen Konstriktion, ebenso einer Unterinstrumentierung bei der Wurzelkanalaufbereitung.

2.1.4. Präparationsfehler bei der Aufbereitung gekrümmter Kanäle

Aufgrund der zuvor beschriebenen mitunter komplexen anatomischen Verhältnisse können bei der Kanalaufbereitung – vor allem stark gekrümmter Kanäle – Präparationsfehler eintreten. Zu diesen Aufbereitungsfehlern zählen Formveränderungen des Wurzelkanals im Sinne eines Trichters („zip“), eines Isthmus („elbow“), einer Stufe („ledge“) und / oder Verlagerung des Wurzelkanals („transportation“).

Die sanduhrförmige Präparation mit Verengung im mittleren Wurzeldrittel wurde bereits 1975 von Franklin Weine an Kunststoffblöcken in vitro nachvollzogen. Von ihm stammen die Bezeichnungen Zip und Elbow für diese Präparationsfehler (Weine, 1975 und 1976). Diese treten bei der Aufbereitung gekrümmter Kanäle signifikant häufiger auf, als an geraden Kanälen (Nagy, 1997). Weiterhin

werden die Verlagerung des originären Kanals in seiner Längsachse und die Stufenbildung unterschieden. Perforationen des Kanalsystems werden Via falsa und Schlitzung genannt. Auch eine Veränderung der Aufbereitungslänge (Überinstrumentierung oder Verblockung) kann als Aufbereitungsfehler zu Komplikationen führen (Offizielles endodontologisches Lexikon in Heidemann, 2001).

Zur Vermeidung von Aufbereitungsfehlern während der Wurzelkanalaufbereitung sollen die Wurzelkanal-Instrumente jeweils nur entsprechend der ihrer geometrischen Form zugrunde liegenden Arbeitsweise eingesetzt werden. Darüber hinaus dürfen während der Wurzelkanalaufbereitung vorgeschädigte Instrumente nicht weiter eingesetzt werden. Da mit zunehmendem Aufbereitungsdurchmesser die Gefahr der Entstehung von Aufbereitungsfehlern insbesondere bei gekrümmten Wurzelkanälen aufgrund der mit steigendem Instrumentendurchmesser abnehmenden Flexibilität der Wurzelkanal-Instrumente kontinuierlich zunimmt, sollte bei der Instrumentierung nach Erreichen der oben angeführten Ziele die Wurzelkanalaufbereitung beendet werden (Wildley, 1992).

2.1.5. Lehre

Die hohen Anforderungen an eine Wurzelkanalbehandlung machen eine fundierte Ausbildung der Studenten unabdingbar. Es hat sich gezeigt, dass ungeübte Behandler nur selten eine suffiziente Aufbereitung und Füllung der Kanäle leisten können. So belegten Hayes et al. 2001 in einer Studie, dass Studenten der Vorklinik in nur 13% eine zufrieden stellende Wurzelkanalbehandlung hinsichtlich Dichtigkeit und Länge durchführten.

Zur Optimierung der Ausbildung wurden aufgrund der Defizite von der European Society of Endodontology 1992 Ausbildungsrichtlinien formuliert. Diese beschreiben nicht nur die entsprechende Vermittlung von theoretischen Kenntnissen an Ätiologie, Diagnostik und Therapie von Pulpenerkrankungen, sondern auch deren praktische Ausführung und Fehlermanagement. Die Etablierung dieser Richtlinien war 1997 in Großbritannien zwar noch nicht vollständig abgeschlossen, eine Verbesserung der Ausbildung und Erhöhung der Lehrstundenanzahl jedoch schon zu verzeichnen (Qualthrough, 1997). 2001 wurde eine Revision der Ausbildungsrichtlinien herausgegeben, wobei eine

noch stringenter Überprüfung des endodontologischen Wissens der Studenten empfohlen wird (ESE 2001).

Eine Optimierung der Ausbildung stellen auch die Übungen an transparenten Wurzelkanälen oder Kanaläquivalenten dar. Dabei ist nicht nur eine radiologische Begutachtung nach entsprechenden Behandlungsschritten, sondern eine direkte Überwachung der Tätigkeit möglich. Dieser Ansatz wird schon seit über 30 Jahren verfolgt (Hasselgren, 1975). Eine Studienübersicht erfolgt in dieser Zusammenstellung später unter Kapitel 2.3.1.

2.2. Instrumentarium und Aufbereitungsverfahren

2.2.1. Edelstahl-Legierungen

Durch Zusatz von Chrom und Nickel werden Stahl- zu Edelstahllegierungen verfeinert. Stähle gelten als nicht rostend, wenn sie sich durch besondere Beständigkeit gegenüber chemisch angreifenden Stoffen auszeichnen; sie enthalten mindestens 10,5 % Chrom (Cr). Höhere Chrom-Gehalte und weitere Legierungsbestandteile wie Nickel (Ni) und Molybdän (Mo) erhöhen die Korrosionsbeständigkeit weiter. Die nicht rostenden Stähle werden nach ihrer chemischen Zusammensetzung in vier Gruppen eingeteilt, die sich auf den Gefügezustand beziehen: mit ferritischem (Cr), mit austenitischem (Cr, Ni, Mo), mit martensitischem (Cr, C, Ni) und mit austenitisch-ferritischem Gefüge (Cr↑, Ni↓, Mo↑; Bedeutung ↑ höher legiert, ↓ niedriger legiert), sogenannte Duplex-Stähle (van Bennekom, 2004; Oberste-Brandenburg, 1999). Die austenitische Phase bildet die Grundform der Legierung und bestimmt ihre Elastizität, die Martensitphase entsteht durch thermische Behandlung und legt ihre Härte fest (Merte, 2002a).

2.2.1.1. Manuelle Wurzelkanalaufbereitung mit Edelstahl-Instrumenten

Die ersten Wurzelkanal-Aufbereitungsinstrumente wurden in den 30er-Jahren des 19. Jahrhunderts aus Uhrfedern und Uhrmacherreibahlen entworfen. Die Großserienfertigung begann um 1870 mit der Gründung der ersten Firma für die Herstellung von Wurzelkanalinstrumenten. Als Materialien dienten anfänglich Gold, Klavierdraht und später bis etwa 1960 Kohlenstoff-Stähle. Aktuell werden

zur Fertigung von Edelstahl-Handfeilen vornehmlich Chrom-Nickel-Stähle verwendet.

Es werden klassischerweise folgende Edelstahlinstrumente unterschieden:

1. Reamer, aus einem im Querschnitt dreieckigen oder quadratischen, nach vorne zulaufend konischen Rohling durch Verdrillung oder Fräsung hergestellte Instrumente, die aufgrund ihres Schneidekantenwinkels von $10-30^\circ$ eine drehend-schabende Arbeitsweise im Wurzelkanal erlauben;

2. K-Feilen, ebenfalls aus einem dreieckigen oder quadratischen Rohling durch Verdrillung oder Fräsung hergestellte Instrumente, die aufgrund ihres Schneidekantenwinkels von $25-40^\circ$ eine teilweise drehende Arbeitsweise im Wurzelkanal erlauben; im Vergleich zum Reamer sind die Anzahl der Windungen pro Längeneinheit und damit auch der Schneidekantenwinkel größer;

3. Hedström-Feilen, aus einem runden Rohling durch Fräsung hergestellte Instrumente mit einer umlaufenden Schneidekante, die aufgrund ihres Schneidekantenwinkels von $60-65^\circ$ eine lineare Arbeitsweise im Wurzelkanal erfordern.

Daneben befindet sich eine nahezu unübersehbare Anzahl von in Design und Legierung unterschiedlichen Instrumenten am Markt, beispielsweise mit nicht-schneidender (Batt-)Spitze, größerer Konizität, verkürztem Arbeitsteil, Safety-Hedström-Feilen mit Abflachung auf einer Seite und Instrumente mit Zwischen Größen (Wildley, 1992; Briseño, 1991 und 1996; Weine, 1996; Bedford-Roberts, 1997; Schäfer, 1997 und 1998; Heidemann, 2001).

Zur Wurzelkanalaufbereitung gekrümmter Wurzelkanäle bieten Wurzelkanal-Instrumente mit einer nicht schneidenden Spitze (Batt-Spitze) Vorteile, da aufgrund dieser Spitzengeometrie die Gefahr des Auftretens von Aufbereitungsfehlern minimiert werden kann. Nach Anwendung derartiger Instrumente sollte der apikale Endpunkt der Wurzelkanäle mit Wurzelkanal-Instrumenten mit herkömmlicher Spitzengeometrie (Reamer oder K-Feilen) nachgearbeitet werden, um eine definierte apikale Stufe zu präparieren (Al-Omari, 1992).

2.2.1.2. Maschinelle Wurzelkanalaufbereitung mit Edelstahl-Instrumenten

Maschinelle Aufbereitungshilfen erreichten gegen Ende der 50er Jahre eine weitere Verbreitung im deutschsprachigen Raum. Das damals entwickelte Racer-Winkelstück versetzte das eingespannte Instrument über eine Exzenterwelle in eine lineare Hubbewegung von 1 mm Amplitude. Ab 1964 wurde ein System mit winkel-begrenzter Rotation Giromatic (Micro-Mega, Oberursel, Deutschland) zur Anwendung angeboten. Weitere neuere Hubwinkelstücke befinden sich derzeit noch im Stadium der Lanzeituntersuchungen (Endo Kopf 3 LDSY (KaVo, Biberach, Deutschland); (Canal-Leader (SET, Gröbenzell, Deutschland)). Systeme, bei denen Wurzelkanal-Instrumente in Schwingungen versetzt werden, sind Excalibur (W &H, Bürmoos, Österreich), Mecasonic (Micro-Mega, Oberursel, Deutschland), Sonic Air (Micro-Mega, Oberursel, Deutschland), Cavi-Endo (Dentsply, Konstanz, Deutschland) und Piezon Master (EMS, München, Deutschland). Eine vollrotierende maschinelle Aufbereitung von Wurzelkanälen wird seit den 1970er-Jahren unter Einsatz von Nickel-Titan-Instrumenten erwogen (Merte, 2002b und Kapitel 2.2.2.2).

Die Aufbereitungshilfen mit schallangetriebenen Wurzelkanal-Instrumenten sind zur Formgebung des Wurzelkanals unzureichend geeignet (Nagy, 1997). Demgegenüber kann die Effizienz der intrakanalären Spüllösung durch schnell schwingende Instrumente erheblich gesteigert werden, so dass die Anwendung derartiger Systeme mitunter zur Unterstützung der chemo-mechanischen Wurzelkanalaufbereitung empfohlen wird (Levy, 1990; Heidemann, 2001 und Kapitel 2.2.4).

2.2.2. Nickel-Titan-Legierungen

Die **Nickel-Titan**-Legierung Nitinol wurde 1962 von William J. Buehler in den **Naval Ordnance Laboratorien** in White Oak, Maryland, USA, entwickelt. Diese Nickel-Titan-Legierungen bestehen zu etwa 56 m% (= Massenprozent) aus Nickel und 44 m% aus Titan (sog. 55-Nitinol) bzw. zu 60 m% aus Nickel und 40 m% aus Titan (60-Nitinol). Der Elastizitätsmodul dieser Legierungen beträgt lediglich ein Fünftel des entsprechenden Wertes für Chrom-Nickel-Stahl. Darüber hinaus besitzen Nickel-Titan-Legierungen ein pseudoelastisches Verhal-

ten, d. h. sie zeigen nach Belastung, die bei Edelstählen bereits zur plastischen Deformation führt, eine rückstellbare Verformung. Die Verformung beruht bei Edelstahl-Legierungen auf einer Deformation des kristallografischen Gesamtgefüges, die dem Hook'schen Gesetz unterliegt. Dies bedeutet, dass die Formveränderung eines soliden Körpers innerhalb seines Elastizitätslimits proportional seiner einwirkenden Kraft ist. Das elastische Verhalten von Nitinol wird im Gegensatz hierzu dadurch geprägt, dass Gitterebene für Gitterebene transformiert wird. Dabei sich summieren die Einzelwerte zu einer Gesamtdehnung, die größer als bei Edelstahl ist. Aufgrund dieser Eigenschaft können Wurzelkanal-Instrumente aus Nickel-Titan im Gegensatz zu solchen aus Edelstahl oder Titan-Aluminium zur maschinellen Wurzelkanalaufbereitung mit vollrotierend angetriebenen Aufbereitungshilfen eingesetzt werden (Camps, 1995; Thompson, 2000; Merte, 2002b, 2003a und 2003b).

2.2.2.1. Manuelle Wurzelkanalaufbereitung

Wurzelkanalinstrumente aus Nickel-Titan werden ebenfalls im Design der K-Feilen, S-Feilen und Hedström-Feilen hergestellt. Im Unterschied zu Edelstahl-Instrumenten können diese Instrumente nicht durch Verdrillen, sondern nur durch Fräsung hergestellt werden. Die Torsionsfestigkeit der Wurzelkanalinstrumente aus Nickel-Titan-Legierungen wird gegenüber Edelstahlinstrumenten aufgrund des vielfältig unterschiedlichen Instrumentendesigns widersprüchlich beurteilt (Schäfer, 1998). Das Biegemoment ist zum Instrumentendurchmesser bis an die Bruchgrenze nahezu proportional, während bei Edelstahl-Instrumenten das Biegemoment bei steigender Instrumentengröße überproportional zunimmt (Canalda-Sahli, 1996; Haïkel, 1998a und 1998b).

2.2.2.2. Maschinelle Wurzelkanalaufbereitung

Bei Aufbereitungssystemen mit vollrotierend angetriebenen Wurzelkanal-Instrumenten werden hierzu konzipierte Instrumente aus Nickel-Titan-Legierungen unterschiedlichen Designs in Verbindung mit elektronisch gesteuerten, drehmomentbegrenzten Motoren eingesetzt (Schrader, 1999; Gambarini, 2000; Turpin, 2000; Peters, 2001; Sonntag; 2002, West, 2002).

Derzeit angebotene Nickel-Titan-Systeme können unter anderem in ihrer Querschnittsgeometrie unterschieden werden. Die ersten eingeführten Systeme LightSpeed, ProFile und GT-Feilen weisen einen 3-fach U-förmigen Querschnitt mit abgeflachten Stützzonen („radial lands“) auf. Die radial lands sollen für eine Stabilisierung des Instrumentes im Wurzelkanalzentrums sorgen und dabei die Gefahr der Kanaltransportation verringern. Der Abtrag des Kanalwanddentins erfolgt dabei abscherend. Neuere NiTi-Systeme (FlexMaster, Hero642, ProTaper, RaCe-System) besitzen einen negativen Schneidewinkel ohne seitliche Führungsflächen im Sinne eines konvexen Dreikant-Querschnittes mit erhöhter Abtragsleistung auf.

Einige der zum vollrotierenden Einsatz angebotenen Nickel-Titan-Instrumente weisen im Vergleich zu den ISO-genormten Instrumenten (Konizität von 2%) eine erheblich stärkere Konizität des Arbeitsteiles von bis zu 12% auf (Glickman, 1997; Bryant, 1999; Dietschi, 2001; Ehrmann, 2002; Bergmans, 2002 und 2003).

2.2.2.2.1. ProFile-System

Der Instrumentensatz besteht aus Orifice Shapern der ISO-Größen 15, 20, 25 und 30 sowie den konischen ProFile 06 und 04 (Konizität 6% bzw. 4%). Die Aufbereitung erfolgt gemäß der Crown-Down-Technik zunächst mit den Orifice Shapern und ProFile 06-Instrumenten. Nach Festlegung der Arbeitslänge wird der Wurzelkanal mit ProFile 04-Instrumenten in steigender Größe unter leichtem Druck aufbereitet. Die abgeflachten Schneidekanten liegen der Kanalwand an und sollen eine konzentrisch runde Kanalerweiterung ermöglichen.

Die ProFile-Instrumente werden mit einem drehmomentbegrenzten Mikromotor bei einer Drehzahl von 250 bis 350 Umdrehungen/Minute eingesetzt.

2.2.2.2.2. FlexMaster-System

Das FlexMaster-System besteht aus jeweils sechs Instrumentengrößen (ISO 20-45) mit den Konizitäten 2, 4 und 6%. Zur Aufbereitung erfolgt zunächst die Erweiterung des koronalen Wurzelkanalanteils mit dicken Instrumenten der größeren Konizität. Nach Vordringen der dünneren Instrumente in tiefere Kanalregion wird der Kanal nach Bestimmung der Arbeitslänge mit den Instrumenten der Konizität von 2% in aufsteigender Größe erweitert.

Das System wird ebenfalls mit einem torsionskontrollierten Mikromotor bei einer Drehzahl von 300 bis 350 Umdrehungen/Minute angewendet.

2.2.3. Vergleichende Untersuchungen verschiedener Aufbereitungssysteme

2.2.3.1. Edelstahl-Instrumente im Vergleich

Zur Untersuchung von Edelstahl-Instrumenten wurden zahlreiche Studien durchgeführt. Aufgrund unterschiedlichen Studiendesigns in Bezug auf die Wahl der Prüfkörper, der Instrumente, der Aufbereitungsmodi und Qualifikation der Behandler bestehen sich teilweise widersprechende Ergebnisse.

Weine et al. verglichen in einer In-vitro-Studie 1976 manuelle (Reamer) und maschinelle (Giromatic) Aufbereitungstechniken mit Edelstahl-Instrumenten. Dabei erwies sich die manuelle Aufbereitung als zeiteffizientere Methode. Aufbereitungsfehler wurden zudem bei der Handaufbereitung seltener und in geringerem Ausmaß beobachtet. Vergleichbare Ergebnisse konnten für Micro Mega K-Feilen beschrieben werden (Al-Omari, 1992).

Demgegenüber berichten Autoren über einen gleichmäßigeren, intensiveren Abtrag von Kanalwanddentin durch andere maschinelle Systeme (Canal Master) (Gilles, 1990). Dies wurde vor allem bei der Aufbereitung mit Canalfinder stark gekrümmter Wurzelkanäle von extrahierten Zähnen im koronalen und mittleren Kanaldrittel beobachtet. Aufgrund fehlender Kongruenz von Kanallumen und Masterpoint erwies sich jedoch die Nachbearbeitung mit konventionellen Instrumenten als notwendig (Fritz, 1989).

In vergleichenden Untersuchungen manueller Aufbereitungstechniken an simulierten Wurzelkanälen zeigten sich Hedström-Feilen am effektivsten in der Aufbereitungszeit und Schneidleistung (Schäfer, 1998).

2.2.3.2. Edelstahl manuell – NiTi manuell

In vergleichenden Untersuchungen von NiTi- und Stahl-Instrumenten zeigten sich meist Vorteile für die Instrumente der innovativen NiTi-Legierung im Sinne einer geringeren Kanalverlagerung (Pertot, 1995; Chan, 1996; Lam, 1999). Eine vergleichende Studie zur Aufbereitung von gekrümmten mesiobukkalen Wur-

zelkanälen an extrahierten menschlichen Molaren ergab eine signifikant geringere Kanaltransportation bei Gebrauch von NiTi-Flexogate-Feilen (Goldberg, 1997). Eine weitere Studie bestätigt diese Vorteile der NiTi-Handinstrumente ebenfalls an extrahierten Molaren (Carvalho, 1999).

Garip untersuchte 2001 die Ergebnisse von Aufbereitungen simulierter gekrümmter Wurzelkanäle mit NiTi- und Stahl-Hedströmfeilen. Hierbei gelang eine bessere Aufbereitung von Wurzelkanaläquivalenten mit den NiTi-Feilen in Bezug auf Erweiterung des Kanallumens und geringerer Transportation des Wurzelkanals. Vergleichbare Ergebnisse waren auch schon beschrieben für Flexofiles und NiTiFlex-Feilen (Bishop, 1997).

In einem In-vivo-Vergleich von Aufbereitungsergebnissen konnte eine bessere Aufbereitungsqualität bei Anwendung von NiTi-Feilen (manuell, Tulsa Dental Products) gegenüber Edelstahl-K-Feilen (Dentsply) nachgewiesen werden. Hierbei waren die Aufbereitungsfehler signifikant reduziert. Eine Folgeuntersuchung nach einem Jahr bestätigte die Ergebnisse der ersten Studie, wobei ein günstigerer Formerhalt der ursprünglichen Kanalmorphologie beim Aufbereitungsvorgang eine bessere Prognose der endodontischen Behandlung bedeutete (Pettiette, 1999 und 2001).

Die Reduktion von Bakterien im Wurzelkanal erfolgte bei der Aufbereitung mit handbetriebenen Edelstahl- und NiTi- Feilen ohne signifikante Unterschiede (Pataky, 2002).

2.2.3.3. Edelstahl manuell – NiTi maschinell

Vergleichende Untersuchungen zwischen manueller Wurzelkanalaufbereitung mit Stahlfeilen und maschineller Aufbereitung mit flexiblen Instrumenten aus NiTi wurden ebenfalls durchgeführt. Es zeigte sich sowohl bei der Aufbereitung von Wurzelkanaläquivalenten an Epoxidharz-Blöcken (Tharuni, 1996) und an extrahierten Molaren (Gluskin, 2001) eine signifikante Überlegenheit der maschinellen Aufbereitung. Es traten weniger Aufbereitungsfehler im Sinne von Kanaltransportation, Zip- und Elbow-Formationen auf. Außerdem wurde ein erheblicher Zeitvorteil für die Anwendung der maschinellen Systeme dokumentiert. Auch die Arbeitsgruppen um *Short* und um *Roig-Cayón* fanden 1997 in einer vergleichenden Studie die Überlegenheit des Formerhaltes bei Nutzung

flexibler NiTi-Instrumente gegenüber Hand-Edelstahl-Feilen. Trotz unterschiedlichen Designs der untersuchten maschinellen Systeme (Lightspeed, McXIM, ProFile) ergab sich kein signifikanter Zeitvorteil für eines dieser Systeme. Dagegen fanden *Ahlquist et al.* in ihrer Studie 2001 in der rasterelektronenmikroskopischen Auswertung nach manueller Instrumentation mit S-Feilen gegenüber der Aufbereitung mit dem ProFile-System signifikant weniger Debris am Kanalwanddentin.

Eine besserer Formerhalt der Kanalwände und Zeitersparnis konnte im Vergleich mit K-Flexofiles für FlexMaster nachgewiesen werden, die gründlichere Entfernung von Debris gelang mit den Edelstahlfeilen (Schäfer, 2002).

2.2.3.4. Edelstahl maschinell – NiTi maschinell

Fariniuk untersuchte 2001 die Aufbereitungen von maschinell betriebenen Stahl- (ENDOfash) und NiTi-Systemen (ProFile). Entsprechend der oben genannten Untersuchungen gelangte er ebenfalls zu signifikant unterschiedlichen Ergebnissen, wobei das Edelstahl-System erheblich größere Deformationen an den ursprünglichen Kanälen verursachte.

Eine vergleichende Studie zwischen Canal Leader (Edelstahl) und ProFile ergab betreffend den Dentinabtrag und Aufbereitungsfehler bessere Ergebnisse für das NiTi-System (Barthel, 1999).

2.2.3.5. NiTi-Instrumente im Vergleich

Bereits 1995 veröffentlichten *Poulsen et al.* die Ergebnisse einer Studie mit dem Lightspeed-System unter Anwendung bei unterschiedlichen Drehzahlen (750, 1300 und 2000 Umdrehungen pro Minute). Es ergaben sich keine drehzahlbedingten signifikanten Unterschiede betreffend die mittlere Aufbereitungslänge und die Veränderung des Abtrags an der Kanalkurvatur. Es konnte jedoch beobachtet werden, dass durch fehlendes Instrumenten-Feedback bei 1300 und 2000 Umdrehungen pro Minute Wandunregelmäßigkeiten taktil nicht erfasst werden konnten. Außerdem erwies sich bei hohen Drehzahlen die Überwindung der Kurvatur bei einigen Präparaten als schwierig. Dies wurde auf erniedrigte Elastizität des Instrumentenschaftes bei hohen Drehzahlen zurückgeführt.

Unter Anwendung von Lightspeed, ProFile und Quantec SC in ovalen Kanälen konnte teilweise aufgrund der Flexibilität der Instrumente Dentin nicht kontrolliert abgetragen werden (Rödig, 2002).

Eine Vergleichsstudie zwischen ProFile und Lightspeed führte zu guten Aufbereitungsergebnissen an extrahierten Zähnen ohne signifikante Unterschiede zwischen beiden Systemen (Versümer, 2002). Auch *Hülsmann* konnte 2003 bei der Wurzelkanalaufbereitung mit den NiTi-Systemen FlexMaster und HERO 642 einen guten Erhalt der Kanalmorphologie feststellen, signifikante Unterschiede zwischen beiden Systemen waren nicht zu beobachten.

Weitere Untersuchungen betrachteten den Verschleiß der NiTi-Instrumente nach Aufbereitung, der bereits nach fünfmaliger Nutzung sichtbar, nach 30maliger Aufbereitung zu unbrauchbaren Instrumenten führte (Eggert, 1999).

Szep veröffentlichte 2001 die Ergebnisse eines umfangreichen In-vitro-Vergleiches von fünf maschinellen NiTi-Prototyp-Systemen, ProFile und manueller Aufbereitungstechnik mit Stahl- und NiTi-Ergoflex-Feilen an simulierten Wurzelkanälen. Untersucht wurden die Aufbereitungszeit, das Gewicht der Endo-Blöcke vor und nach Aufbereitung, Verlust der Arbeitslänge und die Kanaldeviation. Die kürzesten Aufbereitungszeiten wurden mit ProFile und einem maschinellen Prototyp-System erzielt. Ebenso war der Abtrag – gemessen am Gewichtsverlust – bei der Aufbereitung mit ProFile und einem maschinellen NiTi-Prototyp-System am geringsten. Der höchste Gewichtsverlust der Blöckchen wurde bei konventionellen Stahlfeilen beobachtet. Die Studie bestätigt die Ergebnisse von vorangegangenen Untersuchungen, die eine signifikant geringere Kanaltransportation für NiTi-Systeme beschrieben haben, nicht generell. So wurde unter den dargestellten Studienbedingungen ein geringerer Abtrag an der Außenkurvatur des apikalen Drittels von manuellen Stahl-Feilen als von ProFile verursacht. Im mittleren Wurzelkanal-Drittel allerdings stellte sich an der Innenkurvatur ein signifikant erhöhter Abtrag durch die Stahlfeilen dar. Günstigster Formerhalt der aufbereiteten Kanäle in diesem Abschnitt wurde mit dem ProFile- und einem Prototyp-NiTi-System erreicht.

Kein statistisch signifikanter Aufbereitungs-Unterschied ergab sich bei der Untersuchung von NiTiFlex und ProFile (Rhodes, 2001). *Deplazes* beobachtete 2001 in einer vergleichenden Studie zwischen NiTi-K-Feilen und Lightspeed an

extrahierten Molaren ebenfalls keinen statistisch signifikanten Unterschied betreffend die Kanalverlagerung. Ebenfalls lediglich ein Zeitvorteil konnte im Vergleich von ProFile, Lightspeed, McXIM und Flex-R Handfeilen für die maschinellen Systeme beobachtet werden (Short, 1997).

Im Vergleich zwischen dem Lightspeed- und FlexMaster-System sowie NiTi-Handfeilen ergab sich kein signifikanter Unterschied bei den Aufbereitungsergebnissen extrahierter Zähne (Weiger, 2003).

Bei der Aufbereitung von Wurzelkanaläquivalenten erreichten unerfahrene Behandler bessere Ergebnisse mit FlexMaster als mit NiTi- und Edelstahl-Handfeilen (Sonntag, 2003a und 2003b).

In einer weiteren vergleichenden In-vitro-Studie wurde das neu entwickelte NiTi-System MFile mit dem ebenfalls vollrotierenden System FlexMaster vergleichend betrachtet. Das MFile-System wurde für Aufbereitungen gekrümmter Seitenzahnkanäle konzipiert. Es zeigte sich ein Behandlungskomfort bei guten Aufbereitungsergebnissen, sofern die für maschinell betriebene NiTi-Systeme erforderlichen Sicherheitsparameter (drehmomentbegrenzter Antrieb, individuelles Instrumentenmanagement, Übung) eingehalten wurden (Stoll, 2003).

2.2.4. Aufbereitung mit Schall-, Ultraschall- und Lasersystemen

2.2.4.1. Schall- und Ultraschallsysteme

Obwohl bereits 1957 von *Richman* für die Aufbereitung von Wurzelkanälen Ultraschall-Systeme untersucht wurden, erreichten diese erst 1983 Marktreife. In diesem Zeitraum wurden auch schallbetriebene (MM 3000 Endo Sonic Air, Endostar 5) Handstücke zur Wurzelkanalaufbereitung auf den Markt gebracht.

Die schwingenden Instrumente eignen sich für die gefahrlose Aufbereitung der koronalen und mittleren Abschnitte von Wurzelkanälen, das apikale Wurzelkanaldrittel sowie enge, obliterierte Wurzelkanäle lassen sich jedoch mit schallbetriebenen Systemen nur unzureichend aufbereiten (Tronstad, 1985)

Murgel et al. untersuchten 1991 die Reinigungseffektivität ultraschallbetriebener Aufbereitungssysteme. Dabei wurden piezoelektrische, magnetostriktive und schallbasierte Generatoren bezüglich Step-Down- und Step-Back-Technik ver-

glichen. Hierbei stellte sich die Step-Down-Aufbereitungstechnik mit einem piezoelektrisch betriebenen Ultraschallsystem als signifikant effektiver dar.

Schall- und Ultraschallsysteme eignen sich gut zur Steigerung der Effektivität von Wurzelkanalspülungen. Die Schwingungen des Instrumentes setzen die Spüllösung in Bewegung und fördern dadurch die Dispersion von kleineren Debris-Partikeln und deren Abtransport (Schädle, 1990).

2.2.4.2. Laser

Unterschiedliche Lasersysteme (Excimer-, Nd:YAG-, Ar+-, HeNe-, Er:YAG-, CO₂-Laser) wurden bereits seit den 60er-Jahren experimentell hinsichtlich ihrer Eignung zur Wurzelkanalaufbereitung untersucht. Mit Nd:YAG- oder Dioden-Lasern ist eine Verdampfung von Pulpagewebe unter exzellenter Blutstillung möglich, die jedoch mit der Gefahr einer oberflächlichen Karbonisierung der Kanalwand verbunden ist. Ein Abtrag von Wurzelkanalwanddentin ist zwar grundsätzlich mit Lasersystemen durchführbar, jedoch gegenüber konventionellen Behandlungstechniken aufgrund der geringen Ablationsraten wenig effizient. Eine ausreichende Entfernung von Pulparesten und infiziertem Dentin erscheint derzeit unter ausschließlicher Verwendung von Lasersystemen nicht möglich. Auch schränkt die Bruchgefahr der für eine Wurzelkanalaufbereitung erforderlichen flexiblen und dünnen Lichtleiter der Lasersysteme die Anwendbarkeit erheblich ein, da nach einer Fraktur diese Faserfragmente zumeist nicht mehr aus dem Wurzelkanal entfernt werden können. Die zusätzliche mechanische Wurzelkanalaufbereitung ist zurzeit daher noch unabdingbar (Kimura, 2000; Frentzen, 2002).

2.2.5. Spüllösungen

Für die Entfernung von Zelltrümmern, Pulparesten und Dentinspänen ist eine häufige Spülung des Wurzelkanals während der Aufbereitung notwendig. Darüber hinaus können für Kanalinstrumente nicht bearbeitbare Regionen des Wurzelkanalsystems von diesen Lösungen erreicht werden. Die Präsenz von ortsständigen Bakterien kann durch instrumentelle Aufbereitung und Spülung des Wurzelkanals auf ein Tausendstel reduziert werden (Byström, 1981).

2.2.5.1. Natriumhypochlorid (NaOCl)

Natriumhypochlorid löst Pulpagewebe und nekrotisches Material auf und besitzt eine hohe antibakterielle Potenz und gilt als Standardmedium für die Wurzelkanalspülung. Es wird eine Anwendung in Konzentrationen von 0,5 bis 5,25% sowie eine Erwärmung der Lösung auf bis zu 60°C empfohlen, was jedoch mit einer Beschleunigung des Zersetzungsprozesses der Lösung einhergeht (Cunningham, 1980a und 1980b).

In einer vergleichenden Studie konnte kein signifikanter Einfluss von NaOCl auf die Schneide- und Flexibilitätseigenschaften von NiTi-Instrumenten nachgewiesen werden (Haïkel, 1998a und 1998b).

2.2.5.2. Wasserstoffperoxid (H_2O_2)

Wasserstoffperoxid wird in der Endodontie als 3-5%ige Lösung eingesetzt. Aufgrund seiner Oxidationsfähigkeit ist Wasserstoffperoxid stark zelltoxisch. Bei Kontakt zu Blut und vitalem Gewebe wird H_2O_2 von den Enzymen Katalase und Gluthation-Peroxidase in Wasser und molekularen Sauerstoff überführt. Hierdurch entwickelt sich eine Schäumwirkung, die Gewebereste und Dentinspäne aus dem Wurzelkanal schwemmen kann. Die gewebeauflösende Wirkung von H_2O_2 ist geringer ausgeprägt als die des NaOCl (Hülsmann, 2001).

2.2.5.3. Chlorhexidin (CHX)

Chlorhexidin-Lösungen besitzen in der Konzentration von 2% eine ausgeprägtere antimikrobielle Wirksamkeit als eine 5,25%ige NaOCl-Lösung und sind als medikamentöse Einlage gut geeignet. Eine gewebeauflösende Eigenschaft zeigen CHX-Lösungen nicht. Sie sind daher als zusätzliche Spüllösung anzusehen (Barthel, 2001).

2.2.5.4. Chelatoren / EDTA

Die bereits 1957 in die Endodontie eingeführten Chelatoren, vor allem EDTA, gewinnen wieder zunehmend an Bedeutung. Durch die Bindung von Calciumionen kann eine Erweichung der Wurzelkanaloberfläche erreicht werden, die den Materialabtrag erleichtert. Es konnte der smear-layer unter Anwendung von Glyde signifikant besser entfernt werden als bei alleiniger Spülung mit NaOCl

(Lim, 2003). Dabei war jedoch unter Anwendung von manuellen NiTi-Feilen mit EDTA eine erheblich größere Kanaldeviation als unter trockener Aufbereitung mit denselben Instrumenten zu beobachten (Bramante, 2000). Zudem wirken Chelatoren in der Verwendung mit vollrotierenden Instrumenten als Gleitmittel und können das Instrumenfrakturrisiko mindern (Heckendorff, 2002). Alleinige Kanalspülungen mit EDTA bewirkten jedoch in einer Studie keine wirksame Bakterienreduktion (Coldero, 2002).

Die Aufbereitung von Wurzelkanälen – im Hinblick auf Elimination der krankheitsverursachenden Mikroorganismen – war in einer In-vitro-Studie ohne den Einsatz von desinfizierenden Spülflüssigkeiten nicht ausreichend gewährleistet. In dieser Untersuchung über die Effektivität der feuchten manuellen Wurzelkanaufbereitung ergab die Anwendung von EDTA, Phosphor- und Zitronensäure eine wirksame Entfernung von Schmierschichten. Dabei zeigten sich die besten Ergebnisse für schallaktivierte Zitronensäure (Klimm, 1990). Dagegen fand Mayer 2002 keine signifikante Reduktion des smear-layers durch schallaktiviertes NaOCl und EDTA.

2.2.6. Behandler mit unterschiedlichem Erfahrungsstand

Gute Aufbereitungsergebnisse hängen ebenso von der Routine und der Vertrautheit des Behandlers mit dem jeweils verwendeten Aufbereitungssystem ab, wie von den eingesetzten Wurzelkanal-Instrumenten. Unterschiedliche Erfahrungsgrade der Behandler sorgen demnach schon unabhängig von der Methode für unterschiedliche Aufbereitungsergebnisse, weshalb mehrfach die Leistungen unerfahrener Studenten untersucht wurden. Aufgrund der in den Studien gewonnenen Erkenntnisse konnten Aufbereitungsmethoden, die zu besseren Behandlungsergebnissen führten, in die studentischen Lehrgänge eingeführt werden (Pettiette, 1999). Auch konnten mit zunehmendem Erfahrungsgrad Zeitvorteile nachgewiesen werden (Mesogouez, 2003).

Namazikhah et al. führten eine In-vitro-Studie an extrahierten Zähnen mit unerfahrenen Behandlern im Instrumenten-Vergleich Edelstahl-K-Feile mit rotierendem NiTi-System (Tulsa) durch. Die Ergebnisse wurden durch radiologische Auswertung vor und nach der Behandlung gewonnen. Signifikant geringere Ledge-Bildung sowie Verlust an Arbeitslänge stellte sich dann heraus, wenn die

Studenten zunächst die manuelle Technik geübt und anschließend die maschinelle Methode durchgeführt hatten (Namazikhah, 2000).

Eine In-vitro-Untersuchung von Aufbereitungsergebnissen (Messung der Kanaltransportation an neun Levels) durch Behandler unterschiedlichen Erfahrungsstandes zeigte signifikante Unterschiede in der Aufbereitungsqualität, wobei Endodontologen die besten Ergebnisse erzielten. Es konnte in dieser Studie jedoch auch gezeigt werden, dass unerfahrene Behandler zur Beurteilung eines neuen Aufbereitungsverfahrens als unvoreingenommen betrachtet werden können. Ihre Aufbereitungsergebnisse zeigten weniger Streuung unabhängig vom Verfahren (Baumann, 1999).

Die klinische Anwendung neuartiger Wurzelkanal-Systeme sollte immer erst nach längerer Übungsphase erfolgen, um reproduzierbare Ergebnisse erzielen zu können. In Bezug auf die Frakturhäufigkeit zeigte sich ein erheblicher Lernerfolg bei mehrfacher Anwendung eines maschinellen Aufbereitungssystems unabhängig vom ursprünglichen Ausbildungsstand der Behandler (Mandel, E.; 1999).

Eine Untersuchung von *Peters et al.* (2003) belegt die erfolgreiche Einführung eines maschinell betriebenen Aufbereitungssystems (ProFile) in den studentischen Unterricht. Die Methode wurde zunächst in einem vorklinischen Kurs vermittelt und geübt, später an Patienten erfolgreich angewendet. In einem Fragebogen wurde die Akzeptanz des maschinellen Systems durch die Studenten mit überwiegender Mehrheit bestätigt (Hänni, 2003).

2.3. Testverfahren und Auswertung

2.3.1. Natürliche Zähne – Simulierte Wurzelkanäle

Von großer Bedeutung ist die Auswahl der Untersuchungsobjekte. Im In-vitro-Versuch lassen sich standardisierte Epoxidharz-Blöcke mit Wurzelkanaläquivalenten oder extrahierte menschliche Zähne radiologisch, fotografisch und unter direkter Sichtkontrolle untersuchen. In-vivo-Betrachtungen können hingegen ausschließlich radiologisch ausgewertet werden.

Für spezielle Fragestellungen, wie die Beurteilung der Kanalsäuberung und Glättung der Kanalwände können nur natürliche Zähne zur (elektronen-) mikro-

skopischen Untersuchung herangezogen werden (Ahlquist, 2001). 1999 stellten *Hülsmann et al.* eine Technik zur standardisierten Untersuchung der Aufbereitungsqualität von natürlichen Wurzelkanälen vor. Zur Überprüfung wurden folgende Parameter ausgewertet: Effektivität der Kanalreinigung, Präparationsform unter Beachtung von Aufbereitungsfehlern, Arbeitssicherheit und Handling.

In einer Studie wurde 1975 im vorklinischen Endodontie-Kurs der Nutzen extrahierter und anschließend demineralisierter Zähne auf den Lernerfolg hin untersucht. Dazu wurden die Zähne nach Formalinfixierung demineralisiert und in Xylen eingebettet. Teilweise wurden die Kanäle mit Tinte sichtbar gemacht, wobei zusätzlich zu morphologischen Betrachtungen der Kanalwand-Abtrag sichtbar gemacht werden konnte. 81 Prozent der Studenten empfanden bei der Anwendung demineralisierter, transparenter gegenüber der Verwendung nicht demineralisierter Zähne einen leichteren Lernerfolg endodontischer Aufbereitungstechniken und empfahlen eine vermehrte Anwendung dieser Lehrmethode (Hasselgren, 1975).

Epoxidharz-Blöcke mit einem Wurzelkanaläquivalent dienten in zahlreichen Studien als standardisierte Untersuchungsobjekte (Al-Omari, 1992; Schäfer, 1995; Bedford-Roberts, 1997; Baumann, 1999; Mandel, 1999; Fariniuk et al., 2001).

2.3.2. Fotografische Dokumentation, elektronische Auswertung

Die fotografische Dokumentation von Epoxidharz-Blöcken mit Wurzelkanaläquivalenten vor und nach Aufbereitung stellt eine zuverlässige Auswertungsmöglichkeit dar. Auch die Auswertung von Röntgenbildern natürlicher oder künstlicher Wurzelkanäle wird zur Evaluierung von Aufbereitungskriterien häufig genutzt. Zur Auswertung wurden meist digitale Bildverarbeitungsprogramme zur Überlagerung von Vorher-/Nachher-Bildern, bzw. zur Überlagerung von digitalisierten Vorher-/Nachher-Röntgenaufnahmen eingesetzt (Luiten, 1995; Bedford-Roberts, 1997; Baumann, 1999).

2.3.3. Zerstörende Untersuchung mittel optischer Vergrößerung

Für Fragestellungen zur Oberflächenbeschaffenheit der Wurzelkanäle müssen zerstörende Untersuchungen angewandt werden. Dabei wurden die Wurzeln natürlicher, extrahierter Zähne nach Aufbereitung histologisch fixiert, aufbereitet, längs angeschnitten und zur Vermeidung einer Kontamination durch den Schnittvorgang gebrochen. Die Auswertung erfolgt anschließend mittels Licht- und Rasterelektronenmikroskop. Nachteile ergaben sich aus der nicht standardisierten Festlegung der Beobauungskriterien sowie in der Auswahl der Untersuchungsbereiche (Ahlquist, 2001; Gambarini, 2002)

2.3.4. Radiologische Auswertung

In einer vergleichenden Studie wurde die radiologische Aufnahme mittels Halter und eigens angefertigten Bissblöcken sowie anschließendem Scannen der Röntgenbilder (Zahnfilme) zur Auswertung angewendet. Dies gewährleistete eine nahezu identische Projektion vor und nach Aufbereitung (Pettiette, 1999). Auch eine 1-jährige Folgeuntersuchung konnte ebenso durchgeführt werden (Pettiette, 2001). Jardine nutzte Quecksilber als Kontrastmittel zur Untersuchung aufbereiteter Wurzelkanäle (2000). Eine vergleichende Untersuchung der Aufbereitung von Wurzelkanälen mit Hedström und K-Feilen aus NiTi und Edelstahl konnte mittels CT an simulierten Wurzelkanälen durchgeführt werden. Dabei war ein vollständiger Erhalt der Prüfkörper möglich. Einschränkungen waren in der Genauigkeit gegeben, wobei bei einer Schichtdicke der Präparate von 3 mm in einem „Field of view“ von 200 mm lediglich eine bildgebende Auflösung von 512 Bildpunkten erreicht wurde (Garip, 2001).

Zur nondestruktiven Untersuchung nutzten *Gluskin et al.* 2001 ebenfalls einen hochauflösenden CT-Scanner mit anschließender Bildverarbeitungssoftware. Es konnte eine praktikable Methode zur Auswertung der Kanalveränderungen auch in Quer- und Längsschnittebenen entwickelt werden.

Neuere Hard- und Software ermöglichten die nondestruktive Untersuchung von Wurzelkanälen natürlicher extrahierter Zähne mit einer dreidimensionalen Auflösung von 36 µm. Es konnten Volumen, Durchmesser, Transportation und bearbeitete Oberfläche nach der Bearbeitung mit dem ProTaper-System (Dentsply

Maillefer, Ballaigues, Schweiz) mit hoher Präzision evaluiert werden (Peters, 2003).

2.3.5. Statistische Verfahren

Zusammenhänge zwischen nicht-metrischen, nominalskalierten Variablen lassen sich am besten in Form von Kreuztabellen darstellen. Zur statistischen Auswertung zweier unabhängiger Stichproben in Kreuztabellen eignet sich der Chi-Quadrat-Test nach Pearson. Dieser Test überprüft, ob sich die beobachteten Häufigkeiten signifikant von den erwarteten Häufigkeiten unterscheiden. Der Vergleich von verschiedenen Stichproben hinsichtlich ihrer Mittel- bzw. Medianwerte soll die Frage klären, ob auftretende Unterschiede sich mit zufälligen Schwankungen erklären lassen oder nicht. Bei normal verteilten Werten kann der T-Test, bei nicht normal verteilten Werten der Mann-Whitney U-Test durchgeführt werden (Bühl und Zöfel, 2000).

3. Zielsetzung

In-vitro soll die Ergebnisqualität vier verschiedener Techniken zur Wurzelkanalaufbereitung anhand objektiver Kriterien in einer prospektiven Studie untersucht werden.

Ungeübte Behandler des Phantomkurses der Zahnerhaltungskunde sollen Epoxidharz-Blöckchen mit einem gekrümmten Wurzelkanaläquivalent mit verschiedenen manuellen und maschinellen Techniken aufbereiten. Nach Aufbereitung sollen die Blöckchen mit einem Guttapercha-Masterpoint versehen werden. Anschließend soll ein Fragebogen durch die Behandler ausgefüllt werden.

Die aufbereiteten Blöckchen sollen unter dem Auflichtmikroskop untersucht und erneut fotografisch dokumentiert werden. Nach digitaler Vergrößerung und virtueller Überlagerung der Vor- und Nachher-Fotos soll ein Formvergleich vor und nach der Behandlung anhand von Schnittbildern vorgenommen werden. Dabei sollen verschiedene Kriterien bei allen Blöckchen erfasst und statistisch untersucht werden: das Vorliegen eines Zip, Elbow, Ledge und einer Transportation jeweils als nominales Kriterium; metrisch soll eine Auswertung der apikalen Situation des artifiziellen Kanals erfolgen; in einem eigens entwickelten geometrisch-analytischen Ansatz soll die Änderung der Krümmungseigenschaften der Innen- und Außenkrümmatur des Wurzelkanals im Formverlauf nach Aufbereitung untersucht werden. Fragebögen zur subjektiven Einschätzung der Aufbereitung sollen von den Studierenden ausgefüllt werden.

Folgende Systeme sollen verglichen werden:

- ein manuelles Aufbereitungssystem mit den Edelstahl-Instrumenten Reamer und Hedström-Feile,
- ein manuelles Aufbereitungssystem mit Nickel-Titan (NiTi)-Feilen,
- ein maschinell betriebenes Aufbereitungssystem mit NiTi-Instrumenten – FlexMaster sowie
- ein weiteres maschinell betriebenes Aufbereitungssystem mit NiTi-Instrumenten – ProFile.

Als Hypothesen sollen folgende Aussagen anhand geeigneter statistischer Methoden beurteilt werden:

1. Es besteht kein Einfluss der verwendeten Aufbereitungssysteme auf die Ergebnisqualität der Wurzelkanalaufbereitung.
2. Unter geometrisch-analytischer Betrachtung besteht kein Einfluss der verwendeten Aufbereitungssysteme auf das Ausmaß von Veränderungen der Wurzelkanalmorphologie.

4. Material und Methode

4.1. Versuchsdesign

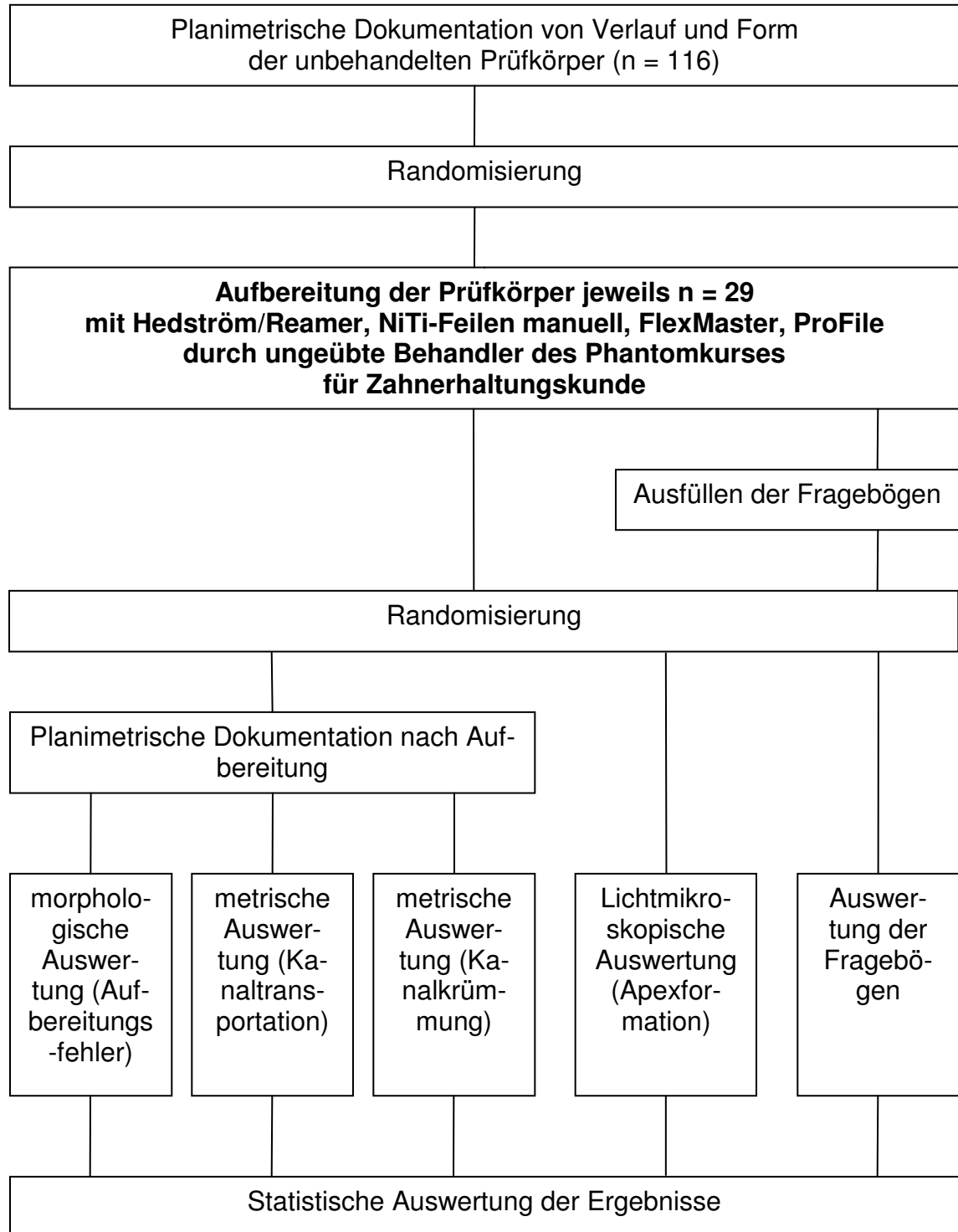


Abb. 1: Versuchsplan

4.2. Methode

4.2.1. Behandler

Die Aufbereitung der Kunststoffprobekörper^{1*} wurde von 29 ungeübten Studierenden des 6. Fachsemesters im Phantomkurs für Zahnerhaltung nach zwei Stunden Vorlesung und einstündiger Demonstration gemäß den Arbeitsanleitungen (s. Kapitel 4.2.4) durchgeführt.

4.2.2. Prüfkörper

Bei den verwendeten 116 Prüfkörpern handelt es sich um kommerziell erwerbliche, vollständig transparente Epoxidharzblöcke. Die Wurzelkanaläquivalente wiesen einen annähernd rechteckigen Querschnitt auf. Die Gesamtlänge der Kanäle betrug 19 mm, davon waren 10 mm im koronalen Bereich gerade, 9 mm im apikalen Bereich gekrümmt. Der Krümmungswinkel betrug 40° (Schneider, 1971), der Krümmungsradius der Kanäle 5,5 mm (Pruett, 1997). Die Dimension des Durchmessers und der Konizität der Kanäle entsprach in der Sagittalen der eines Wurzelkanalinstrumentes ISO 15 .02, in der Transversalebene der eines Instrumentes von ISO 25 .02. Die Kanaleingänge waren kegelförmig, beginnend mit dem Durchmesser von 4 mm, auf einer Länge von 5 mm ausgefräst. Die Apikalregion mündete in einer abgerundet zylinderförmigen Ausfräsung von 4 mm Durchmesser und 0,75 mm Tiefe (s. Abb. 2a, Seite 29).

4.2.3. Vorbereitung und planimetrische Erfassung der Prüfkörper

Vor Bearbeitung wurden die Kanaläquivalente mit 0,1%iger wässriger Methylenblaulösung zur besseren Kontrastierung angefärbt und die Prüfkörper jeweils durch Gravur mit einer fortlaufenden Nummer versehen. Anschließend wurden die Prüfkörper in einem Fotostand² mit millimetrisch skaliertem Hintergrund in reproduzierbarer Position fixiert.

* Die hochgestellten Zahlen verweisen auf das Materialverzeichnis im Anhang, Kapitel 9.1.

Zur planimetrischen Erfassung vor der Bearbeitung wurde pro Prüfkörper mit einer digitalen Kamera³ ein Foto mit der Auflösung von 1712 x 1368 Pixel angefertigt.

4.2.4. Bearbeitung der Prüfkörper

Nach Randomisierung erfolgte die Aufbereitung der Übungsblöckchen durch die Behandler gemäß den folgend aufgeführten Arbeitsanweisungen. Dabei wurde die für die Aufbereitung benötigte Netto-Zeit gemessen.

4.2.4.1. Handaufbereitung

4.2.4.1.1. Reamer⁴/Hedström⁵ (Edelstahl)

Arbeitsanweisung:

1. Arbeitslänge mit Feile ISO 15 und Messlehre bestimmen,
2. Kanaleingang mit Gates-Bohrern⁶ in Crown-down-Technik bis max. 7 mm Tiefe ab Kanaleingang erweitern,
3. Kanal von ISO 15 bis ISO 30 aufbereiten, Hedström-Feile und Reamer im Wechsel,
4. Kanal nach jedem Instrumentenwechsel mit H₂O spülen,
5. Masterpoint⁷ ISO 30 in aufbereiteten Kanal ohne Sealer einstecken und auf Höhe des Plateaus kürzen.

4.2.4.1.2. K-Feilen⁸ (NiTi)

Arbeitsanweisung:

1. Arbeitslänge mit Feile ISO 15 und Messlehre bestimmen,
2. Kanaleingang mit Gates-Bohrern in Crown-down-Technik bis max. 7mm Tiefe ab Kanaleingang erweitern,
3. Kanal von ISO 15 bis ISO 30 in drehend-schabender Arbeitsweise aufbereiten,
4. Kanal nach jedem Instrumentenwechsel mit H₂O spülen,
5. Masterpoint ISO 30 in aufbereiteten Kanal ohne Sealer einstecken und auf Höhe des Plateaus kürzen.

4.2.4.2. Maschinelle Aufbereitung

4.2.4.2.1. FlexMaster⁹

1. Arbeitslänge mit Feile ISO 15 und Messlehre bestimmen,
2. Kanaleingang mit Gates-Bohrern in Crown-down-Technik bis max. 7mm Tiefe ab Kanaleingang erweitern,
3. Aufbereitung gemäß Arbeitsanleitung von VDW:
 - Anwendungssequenz der FlexMaster-Instrumente:
.06/20 → .04/30 → .04/25 → .04/20 → .02/20 → .02/25 → .02/30
 - Anwendung in rotierendem Winkelstück mit 150 – 300 U / min,
 - Jeweils 5-8 Pumpbewegungen in Auf- und Abwärtsbewegung,
 - 10 Sekunden maximale Arbeitsdauer,
4. Feilen vor jeder Anwendung mit Glyde¹⁰ beschicken und nach jedem Instrumentenwechsel den Kanal mit H₂O spülen,
5. Aufbereitung bis ISO 30 (blau 1 Ring),
6. Masterpoint ISO 30 in aufbereiteten Kanal ohne Sealer einstecken und auf Höhe des Plateaus kürzen.

4.2.4.2.2. ProFile¹¹

Arbeitsanweisung:

1. Arbeitslänge mit Feile ISO 15 und Messlehre bestimmen,
2. Kanaleingang mit Gates-Bohrern in Crown-down-Technik bis max. 7mm Tiefe ab Kanaleingang erweitern,
3. Kanal in Crown-down-Technik aufbereiten (Blaues Instrument 2 Ringe zuerst, gelbes Instrument 1 Ring zum Schluss; dann Kanalerweiterung bis ISO 30),
4. Feilen vor jeder Anwendung mit Glyde[®] beschicken und nach jedem Instrumentenwechsel den Kanal mit H₂O spülen,
5. Aufbereitung bis ISO 30 (blau 1 Ring),
6. Masterpoint ISO 30 in aufbereiteten Kanal ohne Sealer einstecken und auf Höhe des Plateaus kürzen.

4.2.5. Erfassung und Vorbereitung der Daten

4.2.5.1. Bilderfassung

Um den Ausgangszustand der Prüfkörper mit der Situation nach Bearbeitung vergleichen zu können, wurden diese nach Bearbeitung wieder im Fotostand fixiert. Durch Kanaleingang wurden die Wurzelkanaläquivalente mit einer Kaltlichtsonde¹² illuminiert. Zur planimetrischen Erfassung wurde jeder Prüfkörper digital fotografiert.

4.2.5.2. Bildbearbeitung

Die vor und nach der Wurzelkanalaufbereitung gefertigten digitalen Fotos der Übungsblöckchen wurden nun mittels Bildbearbeitungssoftware Adobe Photoshop^{®13} unter Multiplikationstransparenz von 80% überlagert. Die exakte Überlagerungsposition konnte anhand fixer Strukturen im Blöckchen (Gravur) gefunden werden (s. Abb. 2).

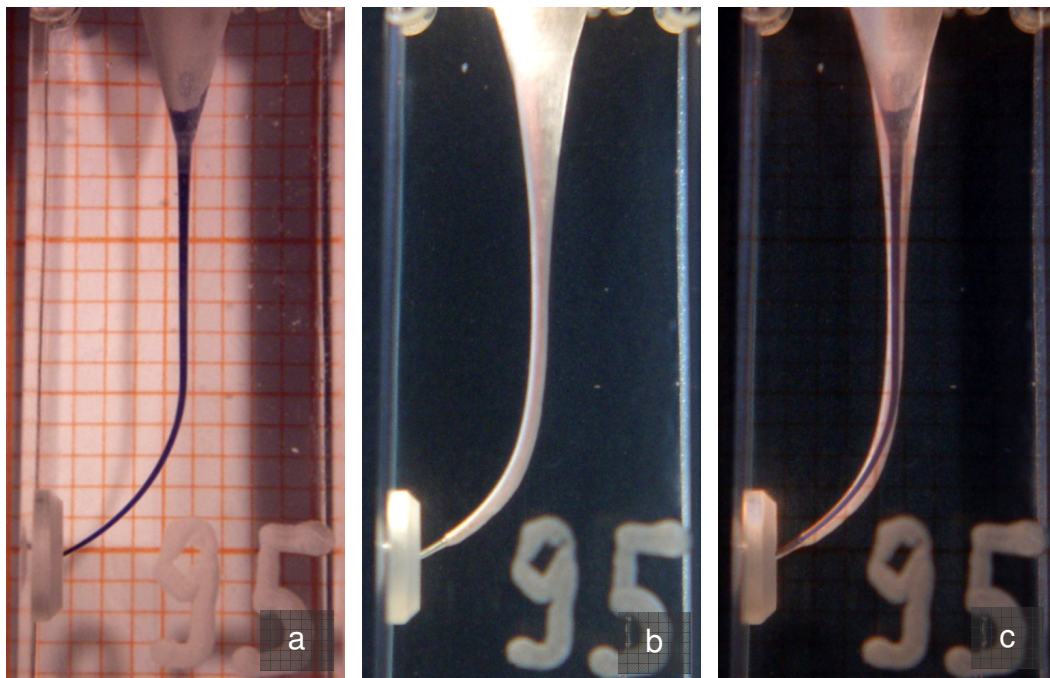


Abb. 2: Planimetrisch erfasste Prüfkörper

- a. Ausgangszustand vor Aufbereitung
- b. nach Aufbereitung
- c. nach digitaler Überlagerung von a und b

4.2.5.3. Projektion von Maßstäben

Anschließend wurden die überlagerten Fotos in die Vektor-Zeichnungs-Software CorelDRAW¹⁴ überführt. Hier erfolgte jeweils aufgrund der produktionsbedingten morphologischen Differenzen die individuelle Anpassung von Maßstäben in der Mitte der unbearbeiteten Wurzelkanaläquivalente (s. Abb. 3 und 4). Die Maßstäbe wurden alle 0,5 mm beginnend am Apex angelegt. Die Skalierung betrug 0,1 mm. Die Auswertungsgenauigkeit betrug unter 40facher Vergrößerung 0,01 mm.

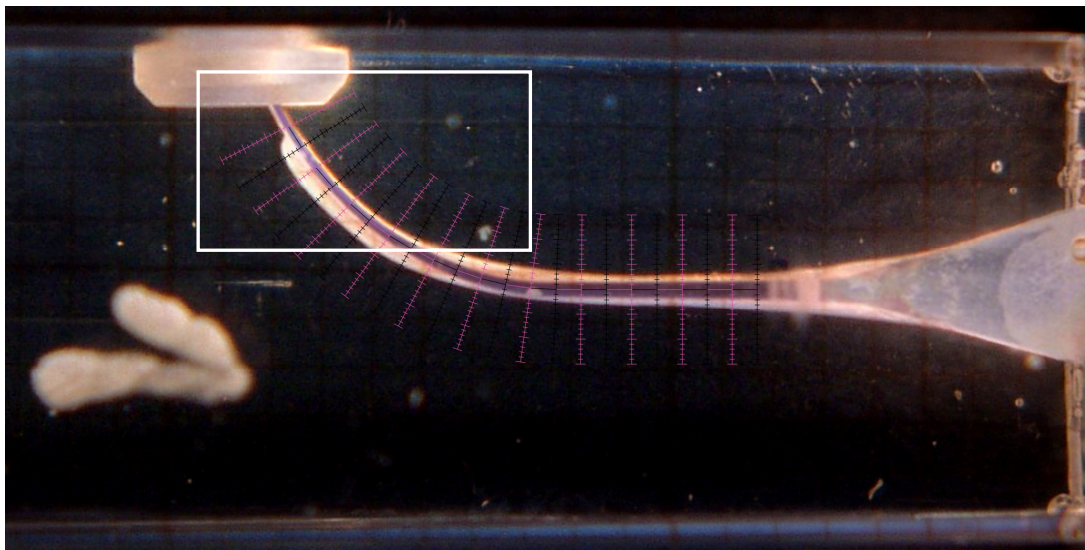


Abb. 3: Überlagertes Bild nach Anpassung der Maßstäbe

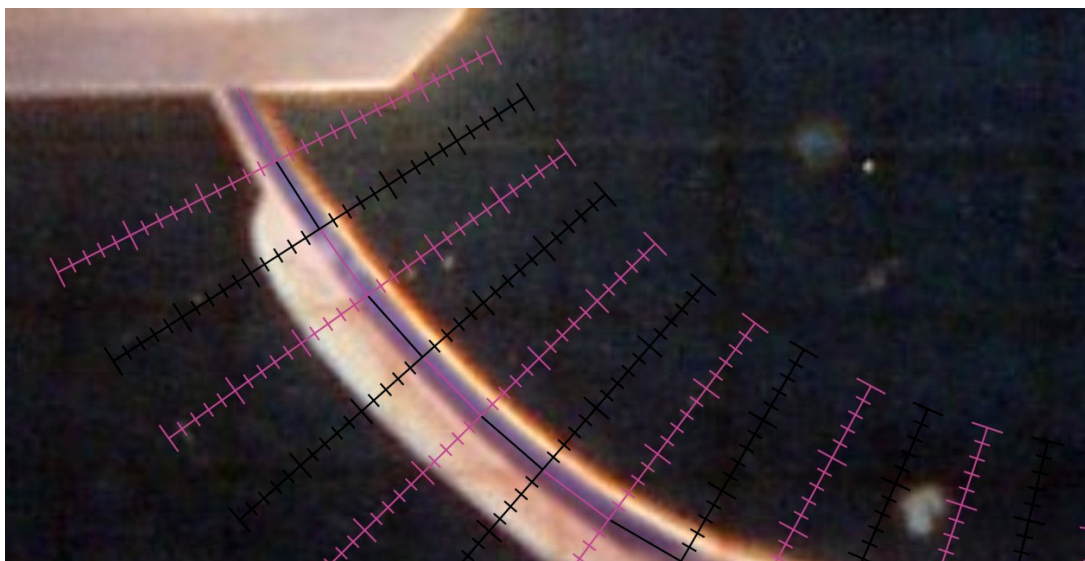


Abb. 4: Detail aus Abb. 3

4.2.5.4. Messung der Kanaltransportation

Als Transportation an einem Messpunkt wurde ein mindestens dreifach größerer Materialabtrag auf einer Seite im Vergleich zur Gegenseite bezeichnet (s. Abb. 5).

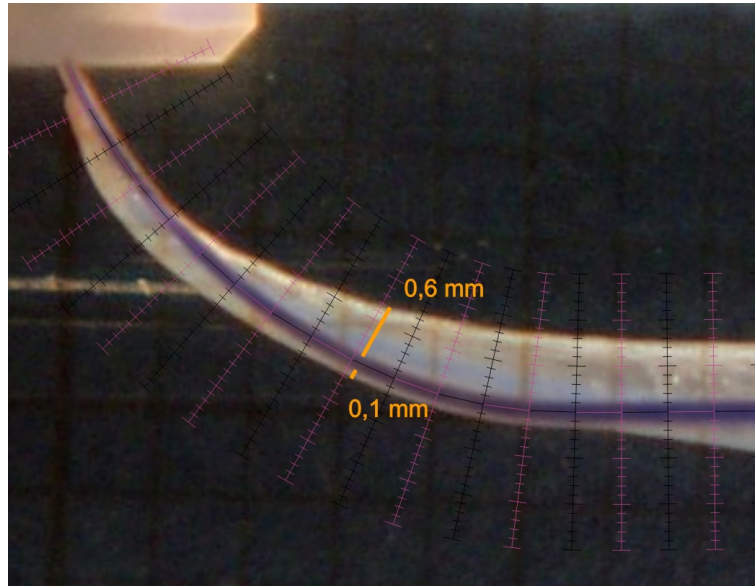


Abb. 5: Beispiel für das Vorliegen einer Transportation
 Abtrag am Messpunkt in 4,5 mm Distanz zum Apex: Außenkurvatur 0,1 mm, Innenkurvatur 0,6 mm. Der Abtrag ist auf einer Seite mehr als dreifach größer als auf der Gegenseite.

4.2.5.5. Erfassung der Daten

Die Gewinnung der Daten bezüglich der Morphologie der Kanäle erfolgte:

1. mit dem Stereo-Lichtmikroskop¹⁵ durch Beurteilung der Apices von apikal mithilfe eines skalierten Okulars, dabei Unterscheidung von vier Kategorien:
 - unversehrter Apex, Durchmesser bis 0,33 mm
 - versehrter Apex, Durchmesser 0,33 mm bis 0,66 mm
 - versehrter Apex, Durchmesser größer als 0,66 mm
 - verblockter Apex
2. durch visuelle Analyse der mit den Maßstäben versehenen überlagerten Fotos und

3. mit Hilfe der Bildvermessungssoftware ImageMeasurement¹⁶, welche die Koordinaten an beliebig vielen Punkten im überlagerten Bild errechnete. Die Festlegung einer Referenzstrecke ermöglichte eine Längenmessung unabhängig vom Vergrößerungsmaßstab. Es wurden die x/y-Koordinaten von durchschnittlich jeweils 12 Punkten in Projektion auf die unbearbeitete und bearbeitete Außen- und Innenkurvatur sowie eines Punktes in Projektion auf den Apex generiert.

4.2.6. Auswertung der Daten

4.2.6.1. Elektronische Auswertung der Messdaten

Die gewonnenen Werte wurden in eine Mastertabelle in einer Tabellenkalkulationssoftware (Microsoft Excel¹⁷) zur weiteren Bearbeitung und Auswertung übertragen. Die nominalen und metrischen Werte wurden ohne weitere Bearbeitung der statistischen Auswertung zugeführt.

Die mathematische Beschreibung der Krümmungseigenschaften der Randkurven basierte auf den mit der Bildvermessungssoftware gewonnenen Koordinaten. Die Koordinaten der Punktfolgen in Projektion auf die Ränder der Wurzelkanäle dienten dabei der Erstellung eines mathematischen Modells der jeweiligen Kurve. Dies erfolgte durch Ermittlung einer Ausgleichsfunktion, einem Funktionsterm, welcher sich in einem Anpassungsvorgang der Gauss'schen Methode der kleinsten Quadrate den entsprechenden Daten möglichst gut anpasst. Dabei wurden die Abstände zwischen Daten- und Kurvenpunkt in y-Richtung quadriert und aufsummiert. Die Kurvenparameter wurden so gewählt, dass diese Summe minimal wurde. Als mathematisches Modell wurde eine rationale Funktion 5. bzw. 6. Ordnung gewählt, deren Parameter durch die Software Microsoft Excel generiert wurden (s. Abb. 6 und 7).

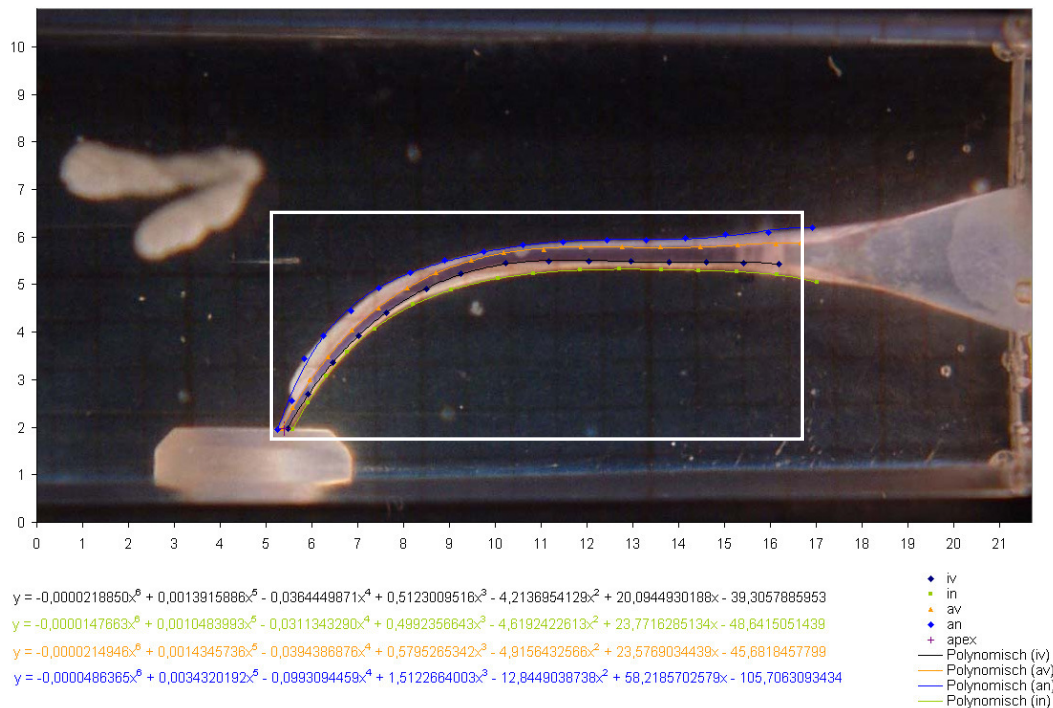


Abb. 6: Ausgleichsfunktionen generiert in Excel

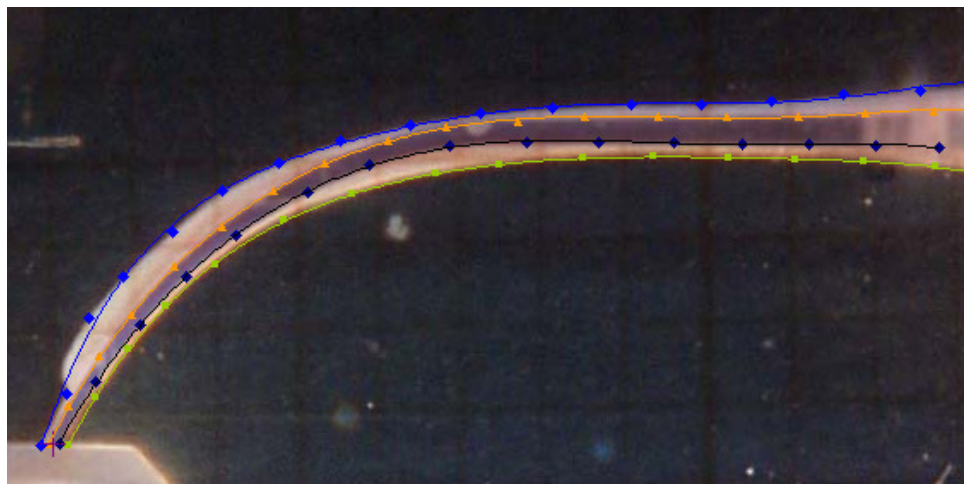


Abb. 7: Detail aus Abb. 5

Durch Auswahl des entsprechenden digitalen Überlagerungsfotos als Hintergrund des Excel-Diagramms konnte eine sofortige Kontrolle der Ausgleichsfunktionen vorgenommen werden.

Anhand der gefundenen Ausgleichsfunktion $y(x)$ wurden charakteristische Eigenschaften der Wurzelkanaläquivalente mithilfe eines Computeralgebrasystems (Derive¹⁸) berechenbar.

Die Krümmung einer Kurve wird in der Mathematik mit so genannten Krümmkreisen beschrieben. Dabei wird ein Kreis gesucht, der sich dem Kurvenverlauf an einer bestimmten Stelle optimal anpasst. Der Krümmkreis wird umso größer, je geringer die Krümmung der Kurve ist. Daher ist es sinnvoll und in der Mathematik üblich, als Maß für die Krümmung einer Kurve in einem Punkt den Kehrwert des Radius des entsprechenden Krümmkreises zu wählen.

$$k(x) = \frac{1}{r(x)}$$

Mithilfe der Krümmungsfunktion $k(x) = \frac{\frac{d^2}{dx^2} y(x)}{\sqrt{1 + \left(\frac{d}{dx} y(x)\right)^2}}$, $0 < x \leq 11$

wird jedem Kurvenpunkt $P(x|y)$ ein bestimmter Krümmungswert $k(x)$ zugeordnet. Die weitere Berechnung erfolgte durch die Algebra-Software.

Die Bestimmung der maximalen Krümmung erfolgt über eine Extremwertberechnung. Gesucht sind Kurvenpunkte von $k(x)$ mit waagerechter Tangente, also x -Werte, für die die erste Ableitung der Funktionsgleichung Null wird.

$$\frac{d}{dx} k(x) = 0$$

Der gefundene x -Wert wurde in $k(x)$ eingesetzt zur Berechnung des maximalen Krümmungswertes sowie in $y(x)$ zur Berechnung des Ausgleichskurvenpunktes maximaler Krümmung.

Die Ermittlung der durchschnittlichen Krümmung der Kanalränder wurde mit Hilfe der Integralrechnung durchgeführt. Dabei werden „unendlich“ viele Einzelkrümmungen summiert und das Ergebnis durch das betrachtete x -Intervall dividiert.

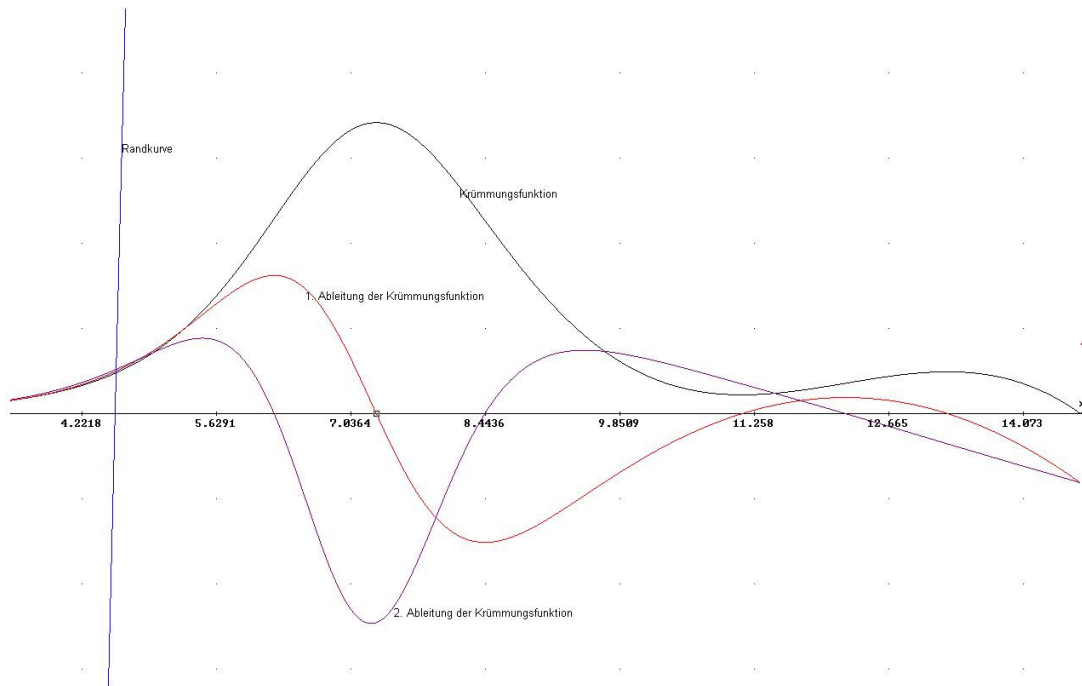


Abb. 8: Krümmungsfunktion und Ableitungen im Detail, Graph aus Derive

Der Wert maximaler Krümmung wurde wie zuvor beschrieben bei allen Prüfkörpern für die Innen- und Außenseite ermittelt. Die Krümmung wird als Kehrwert des Radius des entsprechenden Krümmkreises angegeben. Das bedeutet, dass bei einer größeren Krümmung ein kleinerer Radius des Krümmkreises vorliegt.

In den folgenden Abbildungen sind zur Anschauung die Krümmkreise mit den entsprechenden Radien in Bezug auf den Punkt der maximalen Krümmung auf der jeweiligen Randkurve dargestellt.

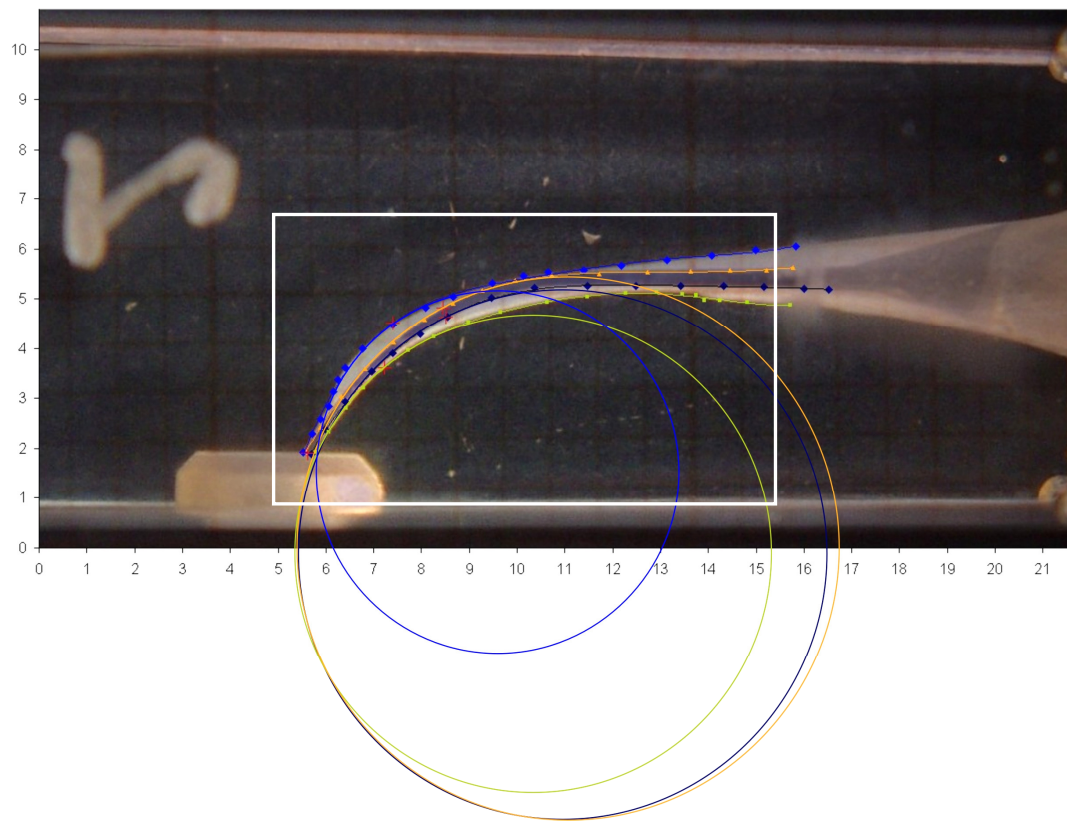


Abb. 9: Randkurven mit Krümmungsmaxima und den gleichfarbigen Krümmkreisen (orange/dunkelblau vor Aufbereitung, hellblau/grün nach Aufbereitung)

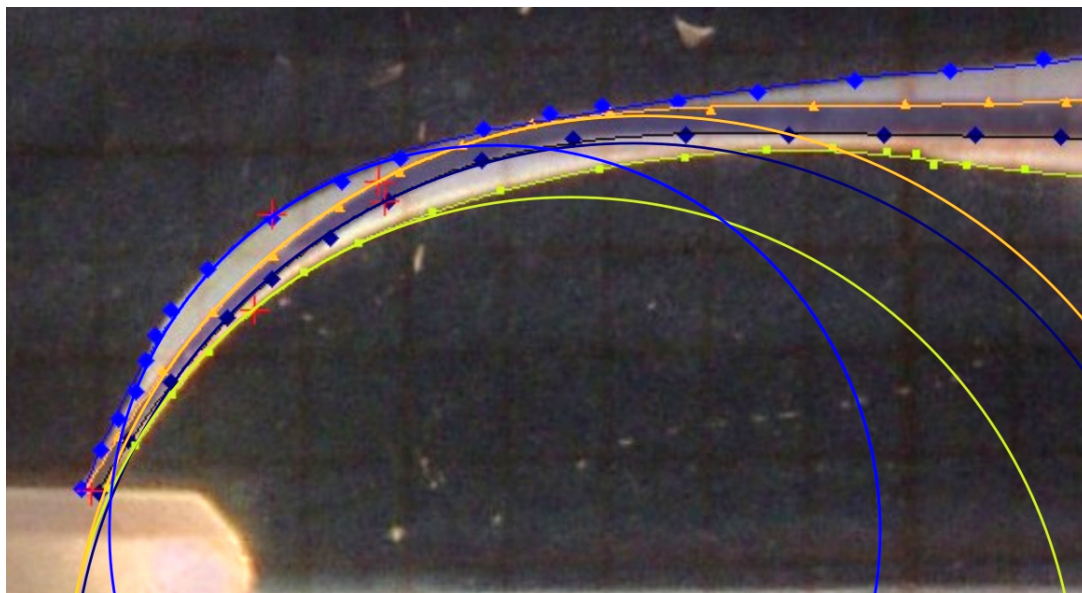


Abb. 10: Ausschnitt aus Abb. 10.
Die roten Kreuze zeigen das jeweilige Krümmungsmaximum. Hier tangiert der entsprechende Krümmkreis die Randkurve.

Die Messung der Verlagerung der Krümmungsmaxima erfolgte ebenfalls an allen Prüfkörpern. Zur Veranschaulichung der Situation sind die Verlagerungstrecken der Koordinaten in x- und y-Richtung an der Außen- und Innenkurvatur eingezeichnet.

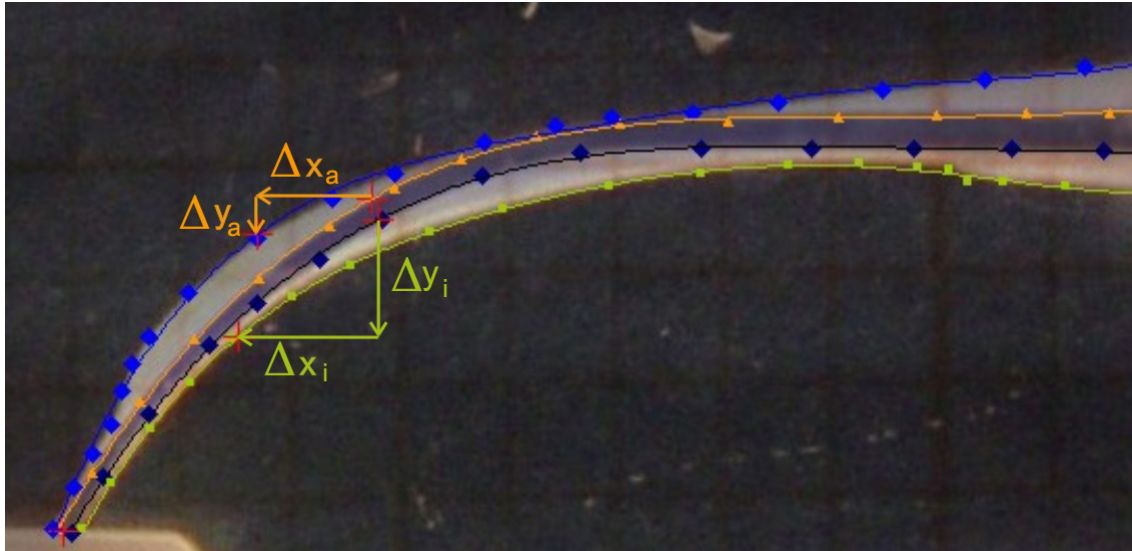


Abb. 11: Verlagerungstrecken der Krümmungsmaxima; Δx entspricht der Verlagerungstrecke in horizontaler Richtung, Δy in vertikaler Richtung; a Außen-, i Innenkurvatur.

4.2.6.2. Statistische Auswertung

Für die statistische Auswertung wurden die Werte auf Normalverteilung mit dem Test nach Kolmogorov-Smirnov überprüft. Anschließend wurden Chi-Quadrat-Tests nach Pearson unter Betrachtung der standardisierten Residuen sowie t-Tests in der Statistik-Software SPSS¹⁹ durchgeführt. Der Irrtumswahrscheinlichkeit p wurde folgende Bedeutung zugrunde gelegt:

Irrtumswahrscheinlichkeit	Bedeutung	Symbolisierung
$p > 0.05$	nicht signifikant	ns
$p \leq 0.05$	signifikant	*
$p \leq 0.01$	sehr signifikant	**
$p \leq 0.001$	höchst signifikant	***

Tab. 1: Bedeutung der Irrtumswahrscheinlichkeit p

5. Ergebnisse

Die 116 aufbereiteten Übungsblöckchen wurden bezüglich der benannten Kriterien beurteilt und die Ergebnisse statistisch untersucht.

5.1. Auftreten von Formveränderungen bei der Aufbereitung

Das Auftreten von Formveränderungen wurde bei den vorliegenden Wurzelkanaläquivalenten anhand der digitalen Fotos unter Vergrößerung untersucht (s. Abb. 12).

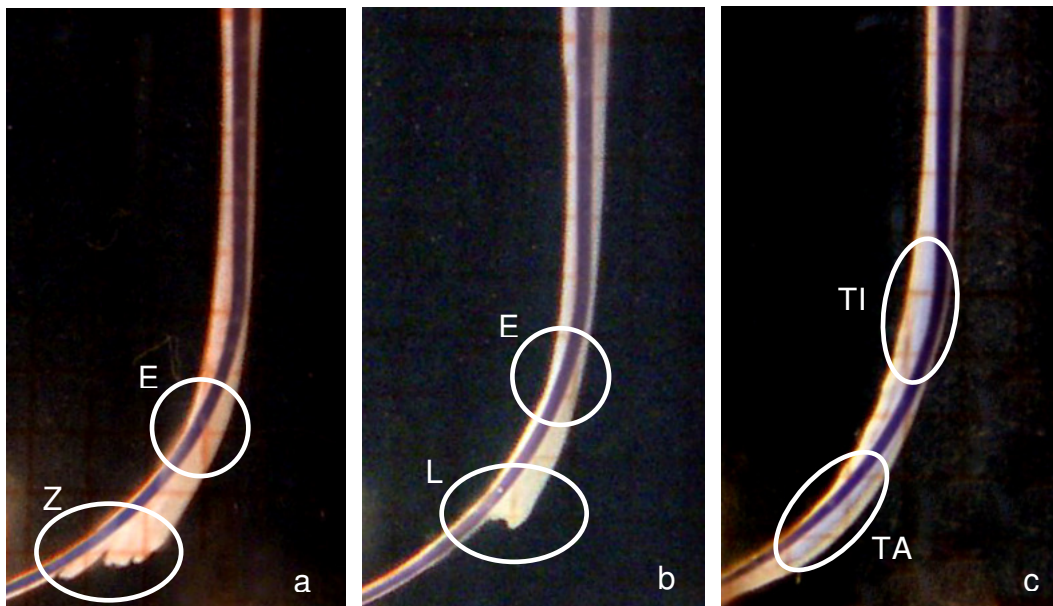


Abb. 12: Formveränderungen im überlagerten Bild. Der dunkle Kanal zeigt die Situation vor, die helle Aussparung nach Bearbeitung.

- a Apikaler Trichter („zip“, Z) in Verbindung mit einem Isthmus („elbow“, E).
- b Stufenbildung an der Außenkurvatur („ledge“, L), ebenfalls in Verbindung mit einem Isthmus (E).
- c Verlagerung des Wurzelkanals („transportation“) im mittleren Drittel nach innen (TI), im apikalen Drittel nach außen (TA).

5.1.1. Übersicht über das Auftreten der Formveränderungen

Die meisten fehlerhaften Formveränderungen traten bei der manuellen Aufbereitung mit Edelstahlinstrumenten auf.

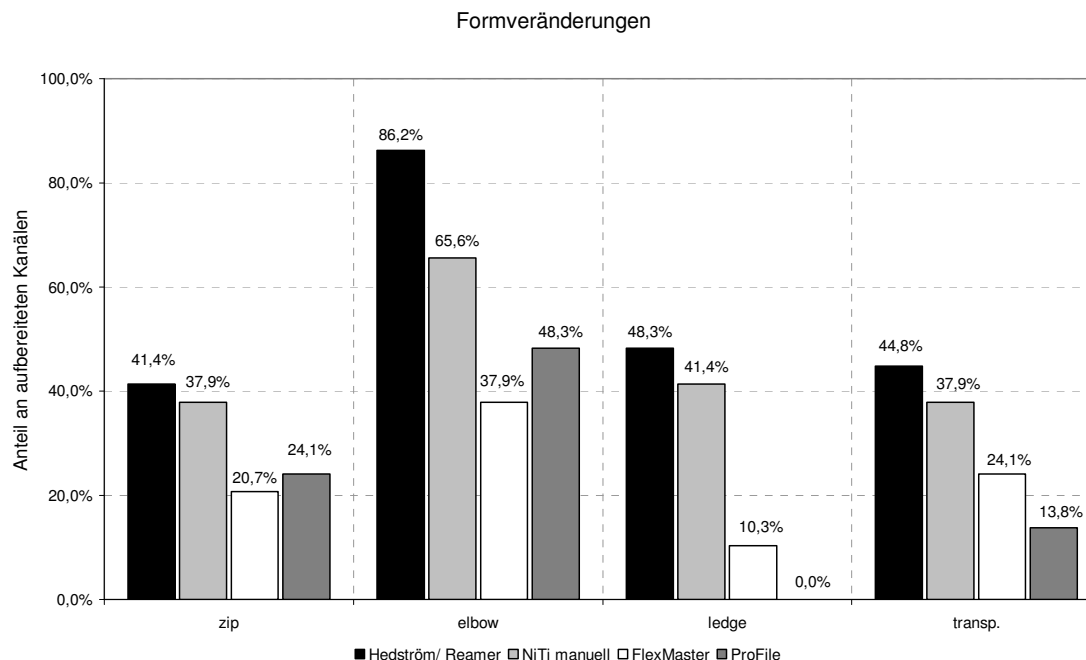


Abb. 13: Prozentualer Anteil der aufbereiteten Kanäle, welche die Formveränderungen zip, elbow, ledge oder transportation nach Bearbeitung aufwiesen, dargestellt nach Aufbereitungsart.

	Hedström/ Reamer	NiTi manuell	FlexMaster	ProFile	p-Werte Chi-Quadrat -Test
zip	41,4%	37,9%	20,7%	24,1%	p = 0,242 n.s.
elbow	86,2%	65,6%	37,9%	48,3%	p = 0,001 **
ledge	48,3%	41,4%	10,3%	0%	p < 0,001 ***
transp.	44,8%	37,9%	24,1%	13,8%	p = 0,046 *

Tab. 2: Gemeinsame Darstellung des prozentualen Auftretens der Formabweichungen „zip, elbow, ledge, transportation“. Größte Häufigkeit grau unterlegt, aufgeteilt nach Aufbereitungsart. p-Werte des Chi-Quadrat-Tests nach Pearson mit der Aussage der Signifikanz des Wertes.

5.1.2. Auftreten eines „zip“

Eine apikale Trichterbildung trat am häufigsten bei der manuellen Aufbereitung mit Reamer / Hedström-Feile auf. Bei der manuellen Aufbereitung mit NiTi-Instrumenten ergab sich eine nicht signifikant geringere Anzahl von zip-Bildungen.

In der statistischen Untersuchung aller Systeme ergab sich kein signifikanter Unterschied.

zip	Hedström/Reamer 41,4%	NiTi manuell 37,9%	FlexMaster 20,7%	ProFile 24,1%
Hedström/Reamer 41,4%	- - -	p = 0,788 n.s.	p = 0,089 n.s.	p = 0,161 n.s.
NiTi manuell 37,9%		- - -	p = 0,149 n.s.	p = 0,256 n.s.
FlexMaster 20,7%			- - -	p = 0,753 n.s.
ProFile 24,1%				- - -

Tab. 3: Statistische Untersuchung des Auftretens der Formabweichung „zip“ für die jeweils angewandte Methode mittels Chi-Quadrat-Test nach Pearson mit der Aussage der Signifikanz des genannten Wertes.

5.1.3. Auftreten eines „elbow“

Das Auftreten eines „elbow“ war insgesamt häufiger als das der Trichterbildung. Die Relation des Auftretens innerhalb der vier Gruppen stellte sich ähnlich der zip-Bildung dar. Mit den maschinellen Systemen wurden gegenüber der Aufbereitung mit Reamer / Hedström-Feile signifikant weniger „elbows“ erzeugt. Bei dem FlexMaster-System traten insgesamt am seltensten Trichterbildungen auf. Rotierende NiTi-Systeme erzeugten signifikant weniger elbows, als dies bei manueller Aufbereitung der Fall war.

elbow	Hedström/Reamer 86,2%	NiTi manuell 65,5%	FlexMaster 37,9%	ProFile 48,3%
Hedström/Reamer 86,2%	---	p = 0,066 n.s.	p = 0,000 ***	p = 0,002 *
NiTi manuell 65,5%		---	p = 0,036 *	p = 0,185 n.s.
FlexMaster 37,9%			---	p = 0,426 n.s.
ProFile 48,3%				---

Tab. 4: Statistische Untersuchung des Auftretens der Formabweichung „elbow“ für die jeweils angewandte Methode mittels Chi-Quadrat-Test nach Pearson mit der Aussage der Signifikanz des genannten Wertes.

5.1.4. Auftreten eines „ledge“

Die Bildung von Stufen an der Außenkurvatur trat bei der klassischen manuellen Aufbereitungsmethode mit Edelstahlinstrumenten mit über 48% statistisch signifikant häufiger als bei maschineller Aufbereitung auf. Deutlich geringere Probleme wies das maschinell betriebene System FlexMaster mit ca. 10% auf. Bei ProFile waren höchst signifikant seltener „ledge“-Bildungen zu beobachten als bei manueller Aufbereitung mit Edelstahl- oder NiTi-Instrumenten.

ledge	Hedström/Reamer 48,3%	NiTi manuell 41,4%	FlexMaster 10,3%	ProFile 0%
Hedström/Reamer 48,3%	---	p = 0,597 n.s.	p = 0,002 *	p = 0,000 ***
NiTi manuell 41,4%		---	p = 0,007 *	p = 0,000 ***
FlexMaster 10,3%			---	p = 0,075 n.s.
ProFile 0%				---

Tab. 5: Statistische Untersuchung des Auftretens der Formabweichung „ledge“ für die jeweils angewandte Methode mittels Chi-Quadrat-Test nach Pearson mit der Aussage der Signifikanz des genannten Wertes.

5.1.5. Auftreten einer „transportation“

Die Häufigkeit der Verlagerung des Wurzelkanals unter den verschiedenen Aufbereitungsmethoden wies außer zwischen ProFile und den manuellen Aufbereitungsverfahren keine statistisch signifikanten Unterschiede auf. Bei ProFile wurden am seltensten Transportationen (13,8%) beobachtet, bei der manuellen Aufbereitung mit Reamer und Hedström-Feile kam es in nahezu 45% der Fälle zu einer Transportation des Kanals.

transportation	Hedström/Reamer 44,8%	NiTi manuell 37,9%	FlexMaster 24,1%	ProFile 13,8%
Hedström/Reamer 44,8%	---	p = 0,594 n.s.	p = 0,097 n.s.	p = 0,009 *
NiTi manuell 37,9%		---	p = 0,256 n.s.	p = 0,036 *
FlexMaster 24,1%			---	p = 0,315 n.s.
ProFile 13,8%				---

Tab. 6: Statistische Untersuchung des Auftretens der Formabweichung „transportation“ für die jeweils angewandte Methode mittels Chi-Quadrat-Test nach Pearson mit der Aussage der Signifikanz des genannten Wertes.

5.2. Kanaltransportation

Es konnte an 22 Stellen pro Kanal, jeweils im Abstand von 0,5 mm ab dem Apex, eine Beurteilung vorgenommen werden. In der folgenden tabellarischen Übersicht ist das prozentuale Vorkommen einer Transportation am Messpunkt innerhalb der jeweiligen Gruppe angegeben. Die Ergebnisse beschreiben qualitativ das Vorliegen einer Transportation unabhängig vom Ausmaß. Das vergleichsweise niedrigste Auftreten einer Transportation für eine Aufbereitungsmethode ist durch grauen Hintergrund markiert.

5. Ergebnisse

Messpunkt in mm vor Apex	Hedström/ Reamer	NiTi ma- nuell	Flex- Master	ProFile	p-Werte Chi-Quadrat - Test	statisti- sche Si- gnifikanz
0,5	10,3%	17,2%	17,2%	20,7%	p = 0,754	
1,0	27,6%	20,7%	20,7%	13,8%	p = 0,641	
1,5	55,2%	41,4%	27,6%	24,1%	p = 0,058	
2,0	82,8%	51,7%	41,4%	48,3%	p = 0,008	**
2,5	69,0%	65,5%	41,4%	58,6%	p = 0,145	
3,0	51,7%	72,4%	37,9%	55,2%	p = 0,070	
3,5	31,0%	62,1%	24,1%	55,2%	p = 0,008	**
4,0	34,5%	41,4%	20,7%	48,3%	p = 0,156	
4,5	58,6%	31,0%	13,8%	20,7%	p = 0,001	**
5,0	79,3%	20,7%	17,2%	13,8%	p < 0,001	**
5,5	93,1%	48,3%	34,5%	17,2%	p < 0,001	**
6,0	93,1%	72,4%	44,8%	31,0%	p < 0,001	**
6,5	96,9%	82,8%	72,4%	44,8%	p < 0,001	**
7,0	82,8%	82,8%	48,3%	20,7%	p < 0,001	**
7,5	69,0%	51,7%	24,1%	10,3%	p < 0,001	**
8,0	48,3%	17,2%	17,2%	3,4%	p < 0,001	**
8,5	13,8%	6,9%	6,9%	3,4%	p = 0,515	
9,0	10,3%	6,9%	13,8%	10,3%	p = 0,863	
9,5	6,9%	6,9%	17,2%	10,3%	p = 0,526	
10,0	10,3%	13,8%	10,3%	10,3%	p = 0,967	
10,5	20,7%	17,2%	6,9%	6,9%	p = 0,461	
11,0	20,7%	6,9%	6,9%	3,4%	p = 0,115	

Tab. 7: Darstellung des prozentualen Auftretens der Kanaltransportation an bestimmten Messpunkten, aufgeteilt nach Aufbereitungsart. Geringste Häufigkeit am Messpunkt wurde grau unterlegt. Signifikanz des Chi-Quadrat-Tests nach Pearson mit der Aussage der Signifikanz des Wertes.

Mit Ausnahme des Messpunktes in 0,5 mm Entfernung vom Apex, an welchen die wenigsten Transportationen unter Nutzung der klassischen Handfeilen auftraten, konnte eine Verlagerung des Kanals im apikalen und mittleren Drittel mit den maschinellen Systemen eher vermieden werden: Im apikalen Drittel ereigneten sich weniger Verlagerungen unter Verwendung des FlexMaster-Systems, im mittleren Abschnitt von 4,5 mm bis 8,0 mm Entfernung vom Apex zeigten sich signifikant weniger Transportationen für das ProFile-System. Im oberen Drittel traten wiederum die wenigsten Kanalverlagerungen unter Verwendung von NiTi-Instrumenten auf. Ein statistisch signifikanter Unterschied ergab sich am Messpunkt 2,0 mm vom Apex entfernt für die geringste Veränderung durch das FlexMaster-System.

5.3. Apikale Situation nach Aufbereitung

Die Beurteilung des Kanalaustrittspunktes (Foramen apicale) nach Aufbereitung wurde mittels Lichtmikroskop und skaliertem Okular durchgeführt. Die Beobachtungen wurden vier Kategorien zugeordnet: Kategorie I: unversehrter Apex mit einer vertikalen Höhe von $< 0,33$ mm, Kategorie II: leicht eröffneter Apex mit einer vertikalen Höhe von 0,33 bis 0,66 mm, Kategorie III: beschädigter Apex mit Eröffnung von mehr als 0,66 mm, Kategorie IV: verblocktes foramen apicale.

Apexdurchmesser in 4 Kategorien	Hedström/ Reamer	NiTi manuell	FlexMaster	ProFile	p-Wert Chi- Quadrat - Test
Kat I $< 0,330$ mm	17,2%	31,0%	34,5%	41,4%	
Kat II 0,330 - 0,660 mm	31,0%	24,1%	24,1%	24,1%	
Kat III $> 0,660$ μ m	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	
Kat IV verblockter Apex	51,7%	44,8%	41,4%	34,5%	p = 0,632 (gesamt) n. s.

Tab. 8: Gemeinsame Darstellung des prozentualen Auftretens der Kategorien Apex, aufgeteilt nach Aufbereitungsart. Größte Häufigkeit grau unterlegt. p-Werte des Chi-Quadrat-Tests nach Pearson mit der Aussage der Signifikanz des Wertes.

Die Häufigkeitsauszählungen ergaben ein Maximum bei leicht eröffnetem und verblocktem Apex für die Aufbereitung mit den klassischen Hand-Edelstahlinstrumenten. Ein beschädigter Apex mit weiter Eröffnung lag in keinem Fall vor. Das Häufigkeitsmaximum in der Kategorie „unversehrter Apex“ wurde mit dem maschinellen System unter Verwendung von ProFile erreicht. Eine statistische Relevanz bezogen auf alle Werte in oben aufgeführter Tabelle konnte nicht gezeigt werden.

5.4. Krümmungseigenschaften

5.4.1. Durchschnittliche Krümmung Innenkurvatur

Die statistische Auswertung der durchschnittlichen Krümmung der Innenkurvatur im Ausgangszustand und nach Bearbeitung mit den verschiedenen Aufbereitungstechniken ist in folgender Kreuztabelle dargestellt:

	Hedström/Reamer nach Bearbeitung 0,093	NiTi manuell nach Bearbeitung 0,092	FlexMaster nach Bearbeitung 0,09	ProFile nach Bearbeitung 0,088
vor Bearbeitung 0,08	p = 0,00006 ***	p = 0 ***	p = 0,0002 ***	p = 0,00015 ***
Hedström/Reamer nach Bearbeitung 0,093	- - -	p = 0,679 n. s.	p = 0,102 n. s.	p = 0,013 *
NiTi manuell nach Bearbeitung 0,092		- - -	p = 0,111 n. s.	p = 0,006 *
FlexMaster nach Bearbeitung 0,09			- - -	p = 0,206 n. s.
ProFile nach Bearbeitung 0,088				- - -

Tab. 9: Durchschnittskrümmung an der Innenkurvatur der Kanäle vor und nach Bearbeitung. T-Test für Mittelwertgleichheit der fünf Gruppen untereinander mit der Aussage der Signifikanz des Wertes.

Die Durchschnittskrümmung des ursprünglichen Kanals wurde an der Innenkurvatur durch alle Aufbereitungstechniken sehr signifikant vergrößert. Die geringste Veränderung trat bei der Aufbereitung mit ProFile auf. Hier stellte sich zu den manuellen Aufbereitungstechniken ein signifikanter Unterschied dar, der im Vergleich mit FlexMaster jedoch nicht festgestellt werden konnte.

5.4.2. Durchschnittliche Krümmung Außenkrümmung

Folgend wird die statistische Auswertung der durchschnittlichen Krümmung der Außenkrümmung im Ausgangszustand und nach Bearbeitung mit den verschiedenen Aufbereitungstechniken dargestellt:

	Hedström/Reamer nach Bearbeitung 0,088	NiTi manuell nach Bear- beitung 0,092	FlexMaster nach Bear- beitung 0,087	ProFile nach Bear- beitung 0,086
vor Bearbeitung 0,08	p = 0,093 n. s.	p = 0,0011 **	p = 0,585 n. s.	p = 0,137 n. s.
Hedström/Reamer nach Bearbeitung 0,088	- - -	p = 0,181 n. s.	p = 0,766 n. s.	p = 0,506 n. s.
NiTi manuell nach Bearbeitung 0,092		- - -	p = 0,104 n. s.	p = 0,021 *
FlexMaster nach Bearbeitung 0,087			- - -	p = 0,763 n. s.
ProFile nach Bearbeitung 0,086				- - -

Tab. 10: Durchschnittskrümmung an der Außenkrümmung der Kanäle vor und nach Bearbeitung. T-Test für Mittelwertgleichheit der fünf Gruppen untereinander mit der Aussage der Signifikanz des Wertes.

Im Gegensatz zur Innenkrümmung wurde die durchschnittliche Krümmung an der äußeren Krümmung nur durch die manuelle Bearbeitung mit NiTi-Instrumenten sehr signifikant vergrößert. Die geringste Veränderung im Vergleich zum un bearbeiteten Kanal ergab sich bei der Aufbereitung mit ProFile, wobei ein signifikanter Unterschied zur Aufbereitung mit NiTi-Handinstrumenten nachgewiesen werden konnte. Die übrigen Systemvergleiche zeigten keine statistisch signifi kanten Unterschiede in der Veränderung der äußeren Krümmung.

5.4.3. Maximale Krümmung der inneren Kurvatur

Der Wert und die Verlagerung des Krümmungsmaximums an der inneren Kurvatur des Wurzelkanals nach Bearbeitung mit den verschiedenen Systemen wurden statistisch ausgewertet. Die Ergebnisse sind den folgenden Tabellen zu entnehmen:

	Hedström/Reamer nach Bearbeitung 0,251	NiTi manuell nach Bear- beitung 0,223	FlexMaster nach Bear- beitung 0,205	ProFile nach Bear- beitung 0,207
vor Bearbeitung 0,202	p = 0 ***	p = 0,000095 ***	p = 0,599 n. s.	p = 0,003 **
Hedström/Reamer nach Bearbeitung 0,251	- - -	p = 0,0022 **	p = 0,000001 ***	p = 0,000001 ***
NiTi manuell nach Bearbeitung 0,223		- - -	p = 0,00107 **	p = 0,0018 *
FlexMaster nach Bearbeitung 0,205			- - -	p = 0,642 n. s.
ProFile nach Bearbeitung 0,207				- - -

Tab. 11: Maximale Krümmung an der Innenkurvatur der Kanäle vor und nach Bearbeitung. T-Test für Mittelwertgleichheit der fünf Gruppen untereinander mit der Aussage der Signifikanz des Wertes.

Die stärkste Vergrößerung des Krümmungsmaximums wurde durch die klassische Handaufbereitung bewirkt. Eine statistisch signifikante Vergrößerung des Krümmungsmaximums zeigte sich außerdem bei Aufbereitung mit dem manuellen NiTi-System und ProFile. Im Vergleich der einzelnen Systeme untereinander ließen sich mit Ausnahme der beiden maschinellen Methoden stets mindestens sehr signifikante Unterschiede darstellen.

In den folgenden Tabellen ist die durch Aufbereitung entstandene Verlagerungsstrecke der mathematisch bestimmten Krümmungsmaxima an der Innenkurvatur in X- und Y-Achse aufgeführt (s. Abb. 11, S. 37).

	Hedström/Reamer nach Bearbeitung 0,953	NiTi manuell nach Bear- beitung 0,597	FlexMaster nach Bear- beitung 0,343	ProFile nach Bear- beitung 0,254
Hedström/Reamer nach Bearbeitung 0,953	---	p = 0,000217 ***	p = 0 ***	p = 0 ***
NiTi manuell nach Bearbeitung 0,597		---	p = 0,0027 **	p=0,00005 ***
FlexMaster nach Bearbeitung 0,343			---	p = 0,142 n. s.
ProFile nach Bearbeitung 0,254				---

Tab. 12: Mittlere Verlagerungsstrecke des Krümmungsmaximums in X-Achse an der Innenkurvatur der Kanäle nach Bearbeitung. T-Test für Mittelwertgleichheit der vier Gruppen untereinander mit der Aussage der Signifikanz des Wertes

	Hedström/Reamer nach Bearbeitung 0,847	NiTi manuell nach Bear- beitung 0,517	FlexMaster nach Bear- beitung 0,389	ProFile nach Bear- beitung 0,283
Hedström/Reamer nach Bearbeitung 0,847	---	p = 0,00002 ***	p = 0 ***	p = 0 ***
NiTi manuell nach Bearbeitung 0,517		---	p = 0,02 *	p=0,00004 ***
FlexMaster nach Bearbeitung 0,389			---	p = 0,0078 **
ProFile nach Bearbeitung 0,283				---

Tab. 13: Mittlere Verlagerungsstrecke des Krümmungsmaximums in Y-Achse an der Innenkurvatur der Kanäle nach Bearbeitung. T-Test für Mittelwertgleichheit der vier Gruppen untereinander mit der Aussage der Signifikanz des Wertes

Durch die Kanalaufbereitung wurde das Krümmungsmaximum in apikaler Richtung verlagert. Die größte Verlagerung wurde durch die manuelle Aufbereitung mit klassischen Instrumenten verursacht, gefolgt von Aufbereitung mit manuellem NiTi-System und FlexMaster. Verlagerungen des Krümmungsmaximums durch Aufbereitung mit ProFile waren im Vergleich zu den anderen Systemen bis auf einen Fall sehr signifikant geringer.

5.4.4. Maximale Krümmung der Außenseite

Für die konvexe Außenseite der Kanäle wurden analoge Untersuchungen durchgeführt:

	Hedström/Reamer nach Bearbeitung 0,264	NiTi manuell nach Bearbeitung 0,263	FlexMaster nach Bearbeitung 0,236	ProFile nach Bearbeitung 0,216
vor Bearbeitung 0,08	p = 0 ***	p = 0 ***	p = 0,00008 ***	p = 0,000001 ***
Hedström/Reamer nach Bearbeitung 0,264	- - -	p = 0,018 *	p = 0,02 *	p = 0,000001 ***
NiTi manuell nach Bearbeitung 0,263		- - -	p = 0,029 *	p = 0,000009 ***
FlexMaster nach Bearbeitung 0,236			- - -	p = 0,042 *
ProFile nach Bearbeitung 0,216				- - -

Tab. 14: Maximale Krümmung an der Außenkurvatur der Kanäle vor und nach Bearbeitung. T-Test für Mittelwertgleichheit der fünf Gruppen untereinander mit der Aussage der Signifikanz des Wertes

Eine Vergrößerung des Krümmungsmaximums wurde hier ebenfalls durch die Aufbereitung mit allen Systemen beobachtet. Die durchschnittlich größte Veränderung trat ebenfalls bei der klassischen Handaufbereitung auf. Die – auch im Vergleich zu den anderen Systemen stets statistisch signifikante – geringste Veränderung wurde mit ProFile erzielt.

In den folgenden Tabellen ist die durch Aufbereitung entstandene Verlagerungsstrecke der mathematisch bestimmten Krümmungsmaxima an der Außenkurvatur in X- und Y-Achse aufgeführt (s. Abb. 11, S. 37).

	Hedström/Reamer nach Bearbeitung 0,775	NiTi manuell nach Bear- beitung 0,569	FlexMaster nach Bear- beitung 0,424	ProFile nach Bear- beitung 0,494
Hedström/Reamer nach Bearbeitung 0,775	---	p = 0,007 **	p = 0,000001 ***	p = 0,00009 ***
NiTi manuell nach Bearbeitung 0,569		---	p = 0,09 n. s.	p = 0,389 n. s.
FlexMaster nach Bearbeitung 0,424			---	p = 0,373 n. s.
ProFile nach Bearbeitung 0,494				---

Tab. 15: Mittlere Verlagerungsstrecke des Krümmungsmaximums in X-Achse an der Außenkurvatur der Kanäle nach Bearbeitung. T-Test für Mittelwertgleichheit der vier Gruppen untereinander mit der Aussage der Signifikanz des Wertes

	Hedström/Reamer nach Bearbeitung 0,157	NiTi manuell nach Bear- beitung 0,003	FlexMaster nach Bear- beitung 0,004	ProFile nach Bear- beitung 0,038
Hedström/Reamer nach Bearbeitung 0,157	---	p = 0,0015 **	p = 0,00045 ***	p = 0,006 **
NiTi manuell nach Bearbeitung 0,003	*	---	p = 0,976 n. s.	p = 0,397 n. s.
FlexMaster nach Bearbeitung 0,004			---	p = 0,34 n. s.
ProFile nach Bearbeitung 0,038				---

Tab. 16: Mittlere Verlagerungsstrecke des Krümmungsmaximums in Y-Achse an der Außenkurvatur der Kanäle nach Bearbeitung. T-Test für Mittelwertgleichheit der vier Gruppen untereinander mit der Aussage der Signifikanz des Wertes.

Die Verlagerung des Krümmungsmaximums auf der Außenseite zeigte im Vergleich zur Verlagerung auf der Innenseite eine deutlich größere Veränderung in der X-Achse. Hierbei trat die durchschnittlich geringste Veränderung unter Verwendung des FlexMaster-Systems auf. Alle NiTi-Systeme wiesen jedoch keine statistisch signifikanten Unterschiede auf.

Ein ähnliches Bild zeigte sich bei der Verlagerung in Y-Richtung. Durch die manuelle Aufbereitung mit NiTi-Instrumenten wurde die geringste Änderung verursacht, in nicht signifikantem Unterschied gefolgt von FlexMaster und ProFile.

5.5. Ergebnis der Nullhypothesen

Die in der Zielsetzung formulierten Nullhypothesen

1. Es besteht kein Einfluss der verwendeten Aufbereitungssysteme auf die Ergebnisqualität der Wurzelkanalaufbereitung.
2. Unter geometrisch-analytischer Betrachtung besteht kein Einfluss der verwendeten Aufbereitungssysteme auf das Ausmaß von Veränderungen der Wurzelkanalmorphologie.

müssen aufgrund der gezeigten Ergebnisse verworfen werden.

5.6. Auswertung der Aufbereitungszeit

Die zur Aufbereitung notwendige Zeit in Sekunden wurde in allen Fällen gemessen. Im Folgenden sind die Mittelwerte und die Konfidenzintervalle von 95% grafisch sowie die statistische Auswertung mit dem T-Test tabellarisch dargestellt.

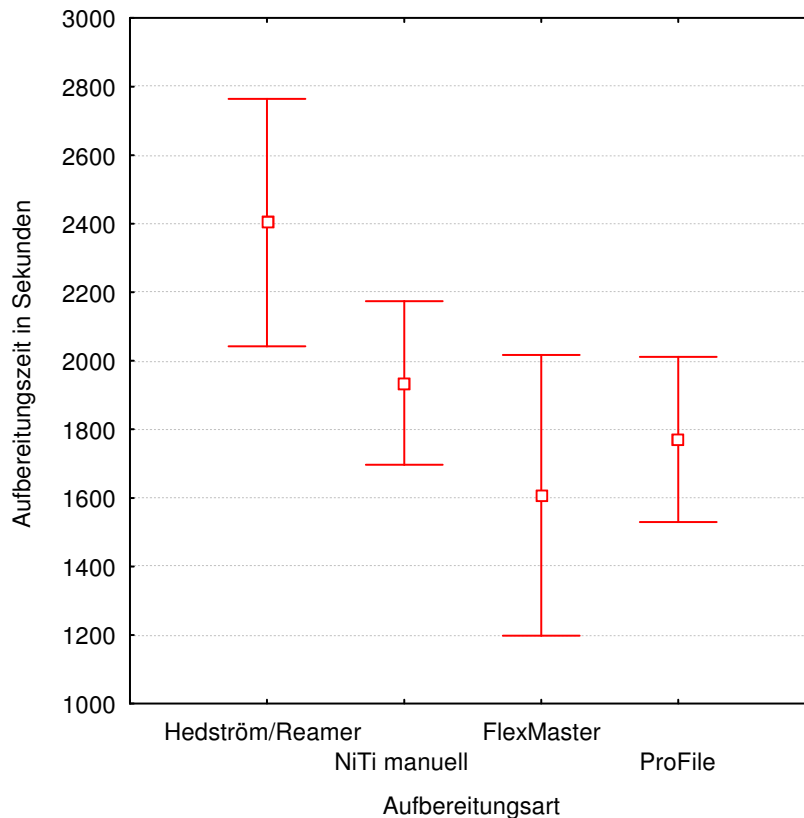


Abb. 14: Darstellung der Mittelwerte der Aufbereitungszeit in Sekunden, 95% Konfidenzintervalle, aufgeschlüsselt nach Aufbereitungsart.

	Hedström/Reamer 2403sek	NiTi manuell 1936sek	FlexMaster 1607sek	ProFile 1771sek
Hedström/Reamer 2403sek	---	p = 0,032 *	p = 0,004 **	p = 0,004 **
NiTi manuell 1936sek		---	p = 0,162 n. s.	p = 0,323 n. s.
FlexMaster 1607sek			---	p = 0,484 n. s.
ProFile 1771sek				---

Tab. 17: Aufbereitungszeit in Sekunden. T-Test für Mittelwertgleichheit der vier Gruppen untereinander mit der Aussage der Signifikanz des Wertes.

Die manuelle Aufbereitung mit Edelstahlinstrumenten beanspruchte die meiste Zeit. Die Wahl von NiTi-Instrumenten erbrachte hierzu im Vergleich eine signifikante, die Nutzung der maschinellen Systeme eine sehr signifikante Zeitersparnis bei der Aufbereitung. Durchschnittlich erfolgte die Aufbereitung mit dem FlexMaster-System mit dem geringsten Zeitaufwand. Es ergaben sich bezüglich der benötigten Zeit jedoch keine statistisch signifikanten Unterschiede zwischen der manuellen Aufbereitung mit NiTi-Feilen und den maschinellen Systemen.

5.7. Auswertung der Fragebögen

Die Fragebögen wurden den Behandlern nach Abschluss sämtlicher Aufbereitungsvorgänge vorgelegt. Die Auswertung der entsprechenden Antworten ist in den folgenden Tabellen dargelegt.

	männlich	weiblich	gesamt
manuell	0%	8,3%	3,7%
maschinell	60,0%	83,3%	70,4%
beide gleich	40,0%	14,3%	25,9%

Tab. 18: Frage 1: Welche Aufbereitungsart erschien Ihnen einfacher zu erlernen? Prozentuale Häufigkeit, aufgeteilt nach Geschlecht und in der Gesamtgruppe.

	männlich	weiblich	gesamt
manuell	46,7%	41,7%	44,4%
maschinell	26,7%	25,0%	25,9%
beide gleich	26,7%	33,3%	29,6%

Tab. 19: Frage 2: Bei welchem Verfahren fühlten Sie sich sicherer bei der Aufbereitung? Prozentuale Häufigkeit, aufgeteilt nach Geschlecht und in der Gesamtgruppe.

	männlich	weiblich	gesamt
manuell	0%	8,3%	3,7%
maschinell	33,3%	41,7%	37%
beide gleich	66,7%	50,0%	59,3%

Tab. 20: Frage 3: Welches Verfahren würden Sie sich als Schwerpunkt Ihrer Ausbildung wünschen? Prozentuale Häufigkeit, aufgeteilt nach Geschlecht und in der Gesamtgruppe.

Die überwiegende Mehrheit der Behandler empfand die maschinelle Aufbereitung einfacher zu erlernen, obwohl das Gefühl der sicheren Handhabung mehrheitlich für die manuellen Systeme angegeben wurde. Etwa 60% der Behandler wünschten sich die Ausbildung an manuellen und maschinellen Systemen. Mehr als ein Drittel der Teilnehmer würde sich die maschinelle Aufbereitung von Wurzelkanälen als Schwerpunkt der Ausbildung wünschen. Eine Ausbildung ausschließlich mit manuellen Aufbereitungsmethoden wurde nur von einem Studienteilnehmer erwünscht.

6. Diskussion

Die Therapie eines Zahnes bei Schädigung des pulpalen und periapikalen Gewebes zur Beseitigung der Ursache von Krankheits- und Schmerzzuständen bei Erhalt der Kaueinheit ist eine schwierige Aufgabe. Ihre Geschichte ist – mit anfänglichen Methoden – bis 4000 Jahre vor Christus, mit ausgereifteren Techniken, die unseren heutigen Aufbereitungsinstrumenten eher entsprechen, bis ins 20. Jahrhundert zu verfolgen.

Dabei kommt der Aufbereitung des komplexen Kanalsystems eine besondere Bedeutung zu. Das Kanalsystem soll weitgehend von den Reizfaktoren, die von infizierten Kanälen ausgehen, befreit und für einen späteren bakteriendichten Verschluss optimal vorbereitet werden (Weine, 1975; Heidemann, 2001).

Heidemann et al. (2001) haben unter anderem folgende Prinzipien der Wurzelkanalaufbereitung zusammengefasst:

- Möglichst vollständige Elimination der bakteriellen Infektion des Endodontes, möglichst vollständige Entfernung von Pulpa- und nekrotischem Gewebe,
- Erhaltung der Integrität der Periapikalregion,
- Formgebung zur Erleichterung und Optimierung der definitiven Füllung,
- allseitige Bearbeitung des zirkumpulpalen Dentins ohne gravierende Formveränderungen oder übermäßige Schwächung der Wurzel.

Die Aufbereitung ist mit konventionellem Instrumentarium schwierig, mühsam und zeitraubend. Daher wurden unter Verwendung hochflexibler Nickel-Titan-Legierungen maschinelle Systeme entwickelt. Die Anwendung dieser Systeme soll dem Behandler nicht nur Zeitvorteile, sondern auch eine Optimierung der Aufbereitungsqualität ermöglichen (Barthel, 1999; Fariniuk, 2001; Schäfer, 2002; Sonntag, 2003). Studien haben gezeigt, dass die Erfolgsquote bei diesen Systemen erheblich durch Übung zu steigern ist. Mit der Erlernung maschineller Aufbereitungstechniken bereits im Phantomkurs für Zahnerhaltungskunde sollen unerfahrene Behandler entsprechend vorgebildet und trainiert werden (Stoll, 2003).

6.1. Material und Methode

6.1.1. Behandler

Ziel der vorliegenden Untersuchungen war die Überprüfung, ob maschinelle Aufbereitungssysteme mit NiTi-Instrumenten im Phantomkurs für Zahnerhaltungskunde sinnvoll eingesetzt werden können. Hierzu war es notwendig, die Ergebnisqualität von Wurzelkanalaufbereitungen, ausgeführt von unerfahrenen Behandlern des Phantomkurses, zu beurteilen. Um ein unvoreingenommenes Ergebnis zu erhalten, wurden nach Randomisierung alle Studenten eines Semesters ungeachtet ihrer manuellen Fähigkeiten oder ihres Talentes an der Studie beteiligt (Baumann, 1999; Namazikah, 2000).

Andere Studien arbeiteten mit freiwilligen Teilnehmern, die sich häufig als geschickter und talentierter herausstellten (Petiette, 1999). Zur Klärung spezieller Fragen wurden auch Aufbereitungsergebnisse von Teilnehmern unterschiedlichen Kenntnisstandes vergleichend untersucht. Dabei waren bessere Aufbereitungsergebnisse und auch Zeitvorteile mit steigendem Erfahrungsgrad nachzuweisen (Baumann, 1999; Mesoguez, 2003)

6.1.2. Materialauswahl

6.1.2.1. Aufbereitungsinstrumente

Zur Untersuchung gelangten die klassischen Instrumente für manuelle Aufbereitung aus Edelstahl (Hedström/Reamer) und NiTi (K-Feilen), welche im Kurs bislang eingesetzt wurden sowie zwei der in Deutschland am weitesten verbreiteten maschinellen vollrotierenden NiTi-Systeme (FlexMaster und ProFile), über die bereits wissenschaftliche Untersuchungen angestellt wurden (Schäfer, 1998; Pertot, 1995; Garip, 2001; Rhodes, 2001; Schäfer, 2002; Hülsmann, 2003).

Zunächst wurden für alle Aufbereitungstechniken die Kanaleingänge mit Gates-Bohren bis zu einer Tiefe von 7 mm konisch erweitert, wodurch sich bei gekrümmten Kanälen optimierte Aufbereitungsergebnisse erzielen lassen (Davis, 2002).

Die Aufbereitung der Blöcke erfolgte manuell nach der konventionellen standardisierten Technik bis zur Instrumentengröße ISO 30. Dabei wurden Reamer und

Hedström-Feilen im Wechsel, beginnend mit der Größe ISO 15, auf Arbeitslänge mit steigender Größe eingesetzt (Ingle, 1961). Die manuelle Verwendung der NiTi-K-Feilen erfolgte ebenfalls analog der standardisierten Technik.

Rotierende NiTi-Systeme zur Aufbereitung gebogener Wurzelkanäle eignen sich gemäß einer Untersuchung von *Baumann* (1999) auch für weniger geübte Behandler bei akzeptablen Aufbereitungsergebnissen. Für die maschinelle Aufbereitung der Wurzelkanal-Äquivalente wurde das NiTi-System ProFile verwendet, das mit seinen nicht geschliffenen Schneidekanten einen neutralen Schneidewinkel aufweist. Dies soll für eine gute Zentrierung der Instrumente im Wurzelkanal sorgen und dabei die Gefahr der Kanalverlegung reduzieren. Dabei sollen die abgetragenen Dentinspäne nach koronal transportiert werden und ein Verblocken des Kanals mit Verlust der Arbeitslänge vermieden werden können (Thompson; 1997a; Bryant, 1999). Im Gegensatz hierzu besitzen die NiTi-Feilen des FlexMaster-Systems einen konvexen Dreikant-Querschnitt mit schneidenden Kanten. Der Dentinabtrag ist bei Anwendung dieser Feilen erhöht, jedoch mit der Gefahr verbunden, dass sich die Feilen bei Friktion in den Kanal einschrauben (Hülsmann, 2003).

6.1.2.2. Kunststoffprobekörper

Bei der Auswahl der Untersuchungsobjekte für Kanalaufbereitungen konkurrierten standardisierte künstliche Blöcke mit natürlichen Zähnen. In-vitro-Studien über die Aufbereitungsqualität von Wurzelkanälen sind an extrahierten natürlichen Zähnen sowie an Kunststoffprobekörpern mit einem artifiziellen Wurzelkanal-Äquivalent durchführbar (Al-Omari, 1992; Schäfer, 1995; Mandel, 1999; Fariniuk, 2001).

Für die Verwendung von Wurzelkanaläquivalenten sprachen in unserem Studienaufbau die Untersuchung in Länge, Krümmung und Form standardisierter Kanäle. Durch Verwendung eines durchsichtigen Kunststoffes war eine Sichtbarkeit der Kanäle gewährleistet und daher eine sehr differenzierte Beurteilung möglich. Auch in der einheitlichen Mikrohärtigkeit aller Proben im Gegensatz zu unterschiedlicher Dentinhärte natürlicher Zähne ergab sich ein Vorteil für die gewählten Prüfkörper (Luiten, 1995; Schäfer, 1995; Tronstad, 1986; Bedford-Roberts, 1997). Die unterschiedlichen Härte- und Abriebsqualitäten von Kunst-

stoff und Dentin halten einige Autoren demgegenüber nicht für vergleichbar und wenden daher für ihre Untersuchungen natürliche extrahierte Zähne bevorzugt an (Deplazes, 2001; Hülsmann, 2003).

Eine In-vivo-Untersuchung schied in unserer Studie dadurch aus, dass wir keine hochpräzise Messung der Kanäle hätten vornehmen können, wenn lediglich Röntgenbilder von Patienten vorgelegen hätten.

6.1.3. Erfassungs- und Untersuchungsmethoden

6.1.3.1. Morphologische Untersuchung der Wurzelkanalaufbereitung

Die Probekörper wurden vor und nach Bearbeitung gepoolt und ohne Kenntnis der jeweiligen Aufbereitungsmethode untersucht, um einen systematischen fehlerhaften Trend (Bias) bei der Auswertung zu vermeiden (Bühl, 2000). Durch das Pooling waren bei der morphologischen Auswertung weder Behandler noch Aufbereitungsmethode dem jeweiligen Probekörper zuzuordnen.

Die bei der Aufbereitung von Wurzelkanälen häufig auftretenden Fehler wurden bereits 1976 von *Weine* kategorisiert. Sie werden auch heute noch zur Beurteilung der Aufbereitungsqualität unter Anwendung verschiedener Aufbereitungstechniken und -instrumente herangezogen (Schäfer, 2002a). Unterschieden wurden in der vorliegenden Untersuchung (Offizielles endodontologisches Lexikon; Heidemann, 2001):

- Zip: bei der Wurzelkanalaufbereitung gekrümmter Wurzelkanäle entstandener Bereich des stärksten Materialabtrags; zumeist am Aufbereitungsende gelegen und durch übermäßigen Materialabtrag an der Außenkurvatur verursacht; im Querschnitt „tropfenförmig“, bedingt durch Rückstellungstendenz der elastisch verformten Wurzelkanalinstrumente.
- „Elbow“: (Ellenbogen) bei der Wurzelkanalaufbereitung gekrümmter Wurzelkanäle resultierende sanduhrartige Präparationsform; die engste Stelle des Wurzelkanals liegt koronal des Endes der Aufbereitung.

- Ledge: „Sims, vorstehender Rand“; bei der Wurzelkanalaufbereitung gekrümmter Wurzelkanäle auf der Außenkurvatur entstandene Stufe im apikalen Bereich, die dazu führt, dass die Aufbereitung nicht mehr bis zur Arbeitslänge erfolgen kann.
- Transportation: Verlagerung der originären Längsachse des Wurzelkanals infolge der Wurzelkanalaufbereitung; zumeist bei gekrümmten Wurzelkanälen.

In der vorliegenden Studie wurde ein Kanalverlauf dann als verlagert bezeichnet, wenn der Abtrag einer Seite den dreifachen Wert der Abtragung auf der gegenüberliegenden Seite übertraf (Luiten, 1995).

Ein weiteres Kriterium zur Beurteilung der Aufbereitungsqualität stellte die Untersuchung der Apikalregion dar. Bei der Wurzelkanalaufbereitung soll das Foramen erreicht, nicht jedoch erweitert werden. Die apikale Konstriktion soll erhalten bleiben, um mittels eines apikalen Stopps ein Überfüllen des Wurzelkanals zu vermeiden. Eine Gefährdung des Therapieerfolges tritt ebenso ein, wenn das Foramen apikale mit Spänen verblockt wurde und ein Verlust der Arbeitslänge eintritt (Schilder, 1974). In der vorliegenden Studie wurde die apikale Region in vier Kategorien eingeteilt: unversehrter Apex, versehrter Apex bis zu einem Durchmesser von 0,33 mm, versehrter Apex mit einem Durchmesser von 0,33 mm bis 0,66 mm sowie die Verblockung mit Spänen.

Die Betrachtung der Apikalregion fand unter dem Stereomikroskop mit skaliertem Okular statt, wobei mit einer Auflösung von ca. 1/30 mm die ausgewählten Kriterien sicher begutachtet werden konnten.

6.1.3.2. Quantitative Untersuchung der Kanaltransportation

Ein etabliertes Verfahren zur quantitativen Auswertung des Abtrags an der Kanalwand durch die Aufbereitung stellt die Bildüberlagerung dar (Luiten, 1995; Bedford-Roberts, 1997; Schäfer, 2002a). Hierzu sind folgende Voraussetzungen notwendig:

1. Die Blöcke müssen mit geringstmöglichen Herstellungstoleranzen gefertigt sein.
2. Die Blöcke müssen transparent sein.

3. Bei gekrümmten Kanälen darf die Krümmung nur in einer Ebene verlaufen.
4. Die Blöcke müssen vor der Bearbeitung möglichst standardisiert zweidimensional, senkrecht zur Krümmungsebene erfasst werden (Briseño, 1991).
5. Die Blöcke müssen nach Bearbeitung mit denselben Parametern wie vor der Bearbeitung erneut erfasst werden.
6. Die Bildüberlagerung muss eindeutig vorgenommen werden können.

Die Erfassung der unbearbeiteten und aufbereiteten Wurzelkanäle, die in den Epoxidharz-Blöcken stets sichtbar waren, erfolgte standardisiert, indem die Blöcke vor und nach Bearbeitung in einem Fotostand montiert wurden. Auch die Auflösung der digitalen Kamera wurde identisch gehalten, so dass eine eindeutige Überlagerung anhand unveränderter Strukturen möglich war. Betrachtet wurde nur die Ebene, in welcher die Krümmung der Kanäle lag. In der vorliegenden Studie konnte bei 40facher Vergrößerung eine zweidimensionale Auswertungsgenauigkeit von 0,01 mm erreicht werden.

Andere Autoren wendeten zur Untersuchung der Aufbereitungsparameter radiologische Verfahren an. Diese ebenfalls nondestruktiven Methoden gewährten bei Anwendung von Röntgenfilmen im Kleinbildformat, die nach Belichtung eingescannt wurden, eine Messgenauigkeit von 0,02 mm (Luiten, 1995).

Die Verwendung von μ CT-Verfahren erlaubt darüber hinaus die quantitative dreidimensionale Untersuchung von Aufbereitungsergebnissen. Es können mit dieser Methode Kunststoffblöcke und natürliche extrahierte Zähne evaluiert werden. Die Auflösung derzeitiger Systeme beträgt etwa 36 μ m. Dabei können komplexe Kanalverläufe dargestellt und die Abtragsvolumina nach Bearbeitung berechnet und räumlich visualisiert werden (Peters, 2003).

6.1.3.3. Metrische Auswertung der Krümmungseigenschaften

Die Charakteristik der Außen- und Innenkurvaturen vor und nach Aufbereitung konnte mittels der näherungsweise berechneten Exponentialkurven mit einer Genauigkeit von 0,05 mm nachvollzogen werden. Damit gelang eine bislang nicht beschriebene Methode der mathematischen Beurteilung der Wurzelkanalform. Es konnte die durchschnittliche Krümmung, die Lage und Größe von Krümmungsmaximalwerten berechnet und deren Veränderung nach Bearbeitung der Wurzelkanäle beobachtet werden.

6.2. Ergebnisse

6.2.1. Formveränderungen

6.2.1.1. Auftreten von Zip, Elbow und Ledge-Aberrationen

Unter den Bedingungen der vorliegenden Studie traten die häufigsten ungünstigen Formveränderungen bei der klassischen manuellen Aufbereitung mit Edelmetallinstrumenten auf. Die manuelle Aufbereitung mit NiTi-Instrumenten ergab in allen Beobachtungen eine geringere Anzahl von fehlerhaften Formveränderungen, jedoch ohne statistische Signifikanz. Mit den maschinellen Aufbereitungssystemen wurden gegenüber den manuellen Techniken signifikant weniger Kanaleinengungen (elbows) und Stufen (ledges) verursacht. Betreffend die Formveränderungen waren zwischen FlexMaster und ProFile keine statistisch signifikanten Unterschiede zu erkennen.

Diese Überlegenheit der NiTi-Instrumente lässt sich zurückführen auf die unterschiedlichen Materialeigenschaften gegenüber Edelstahllegierungen: eine höhere Elastizität und Flexibilität bei geringerer Festigkeit und plastischer Verformbarkeit (Merte 2002). Ehrlich konnte bereits 1989 den Zusammenhang nachweisen, dass mit zunehmender Flexibilität eine geringere Tendenz zur Zip- und Elbowbildung besteht. Die besseren Ergebnisse der maschinellen rotierenden Systeme lassen sich mit der leichteren Handhabung und Erlernbarkeit der Methode durch die unerfahrenen Behandler rechtfertigen.

Bryant et al. konnten in einer Untersuchung des NiTi-Systems ProFile in simulierten Wurzelkanaläquivalenten eine nahezu deckungsgleiche Anzahl von Zip- (24%, vorliegende Studie 24,1%) und Ledge-Bildungen (3%/0%) nachweisen. Die im Vergleich zu einer früher von derselben Arbeitsgruppe durchgeführten Studie größere Anzahl aufgetretener Formveränderungen wird zurückgeführt auf die Instrumentenherstellung mit einer neuen, möglicherweise weniger elastischen Legierung (Bryant, S., 1998a und 1998b; Thompson, S., 1997a und 1997b).

Es zeigte sich ebenfalls bei der Aufbereitung von Wurzelkanaläquivalenten an Epoxidharz-Blöcken mit K-Feilen und dem Lightspeed-System (Tharuni, 1996) eine signifikante Überlegenheit der maschinellen Aufbereitung. Es traten weniger Aufbereitungsfehler im Sinne von Kanaltransportation, Zip- und Elbow-Formationen auf.

Schäfer untersuchte 2002 an simulierten Wurzelkanälen FlexMaster im Vergleich zu Edle Stahl K-Feilen. Es konnten, ohne statistische Signifikanz, weniger Zip/elbow-Aberrationen und Stufenbildungen bei Bearbeitung mit dem NiTi-System beobachtet werden.

Eine Vergleichsstudie zwischen ProFile und Lightspeed führte zu guten Aufbereitungsergebnissen an extrahierten Zähnen ohne signifikante Unterschiede zwischen beiden Systemen (Versümer, 2002). Auch *Hülsmann* konnte 2003 bei der Wurzelkanalaufbereitung mit den NiTi-Systemen FlexMaster und HERO 642 einen guten Erhalt der Kanalmorphologie feststellen, signifikante Unterschiede zwischen beiden Systemen waren auch hier nicht zu beobachten.

6.2.1.2. Auftreten von Kanalverlagerungen (Transportation)

Eine Verlagerung der ursprünglichen Kanalverläufe war bei der Aufbereitung mit den untersuchten maschinellen Systemen im apikalen Drittel signifikant geringer, hier zeigte sich die geringste Verlagerung bei Aufbereitung mit dem FlexMaster-System. Im mittleren Abschnitt der Wurzelkanäle war hoch signifikant die geringste Transportation mit dem ProFile-System zu beobachten.

Besserer Formerhalt nach Aufbereitung mit maschinellen NiTi-Wurzelkanalinstrumenten (Baumann, 1999; Thompson, 2000a und 2000b; Kum, 2000) im Vergleich zur manuellen Aufbereitung mit Edelstahlfeilen, die häufiger

zu Transportationen führt (Bishop, 1997; Kum, 2000), wurde in mehreren anderen Untersuchungen bestätigt.

6.2.2. Apikale Situation

Bei der Beurteilung der apikalen Situation nach Aufbereitung der Kanäle ergab sich ein zahlenmäßiger, jedoch nicht statistisch signifikanter Vorteil für die maschinellen Aufbereitungssysteme. Die Verwendung der maschinellen NiTi-Instrumente führte unter den Bedingungen der vorliegenden Studie etwa 60% der untersuchten Fälle zu einem unversehrten bis nur leicht eröffneten Apex. Bei Anwendung der klassischen Edelstahlfeilen trat am häufigsten, jedoch statistisch nicht signifikant eine Erweiterung und Verblockung der Apices auf. Dies kann auf den geringeren Elastizitätsmodul der Edelmetallinstrumente sowie die schneidende Arbeitsspitze zurückgeführt werden. Zudem kann davon ausgegangen werden, dass der Abtransport der abgetragenen Späne mit den maschinellen Systemen effizienter erfolgt. Eine Überinstrumentierung unter Anwendung maschineller Aufbereitungssysteme war in der vorliegenden statistischen Untersuchung nicht häufiger zu beobachten.

Im Gegensatz zu den vorliegenden Ergebnissen lies sich in der Untersuchung von Schäfer (2002a) keine Überinstrumentierung oder Verblockung der Apices nachweisen, wobei die Aufbereitung im Gegensatz zur vorliegenden Studie durch einen erfahrenen Behandler erfolgte.

6.2.3. Krümmungseigenschaften

Im Allgemeinen steigt mit zunehmender Kanalkrümmung und abnehmendem Krümmungsradius die Schwierigkeit, einen Wurzelkanal formgerecht und weitestgehend frei von Gewebsresten zu erweitern. Die Obturation des Kanals wird durch verstärkte Krümmung des Kanals nach Aufbereitung ebenfalls erschwert. Um objektive Daten statistisch auswerten zu können, wurde ein mathematisch-analytischer Ansatz zur Beschreibung der Krümmungsqualitäten entwickelt. Dabei konnte der Wert der durchschnittlichen Krümmung, der Wert des Krümmungsmaximums sowie die Lokalisation des Maximalwertes berechnet und

ausgewertet werden. Diese Daten wurden jeweils an der Innen- und Außenkurvatur der Wurzelkanaläquivalente vor und nach Aufbereitung gewonnen.

Die durchschnittliche Krümmung an der Innenseite der Kanäle wurde von allen untersuchten Instrumenten signifikant vergrößert. Der maximale Krümmungswert wurde von allen Instrumenten mit Ausnahme von FlexMaster signifikant vergrößert. Eine Verlagerung des Krümmungsmaximums in Richtung Apex wurde ebenfalls durch sämtliche Systeme verursacht, die Krümmungsmaxima wurden jedoch unter Anwendung sämtlicher NiTi-Instrumente signifikant weniger verlagert. Die mittlere Verlagerungsstrecke war dabei sowohl in Y- als auch X-Achse jeweils etwa gleich groß (s. Abb. 15), so dass für die Innenkurvatur näherungsweise gilt: $\frac{\Delta x_i}{\Delta y_i} \approx 1$, unabhängig von der Aufbereitungsmethode.

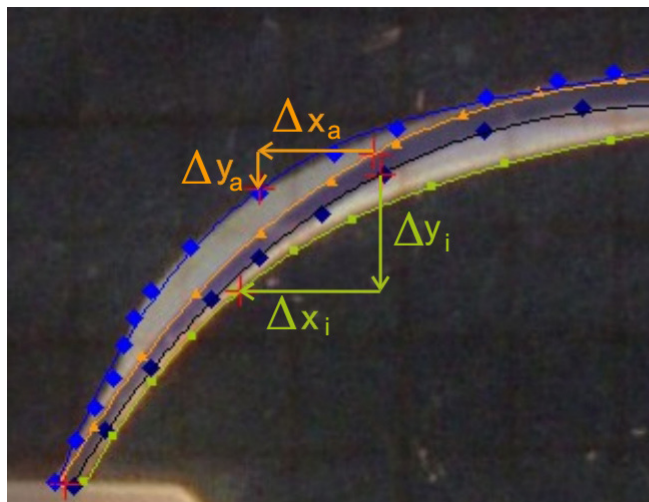


Abb. 15 Ausschnitt aus Abb. 11: Verlagerungsstrecken der Krümmungsmaxima; Δx entspricht der Verlagerungsstrecke in horizontaler Richtung, Δy in vertikaler Richtung; a Außen-, i Innenkurvatur.

Die durchschnittliche Krümmung an der Außenkurvatur wurde lediglich durch NiTi-Handinstrumente signifikant vergrößert. Der maximale Krümmungswert wurde von allen Instrumenten signifikant erhöht, wobei für die maschinell betriebenen NiTi-Instrumente jedoch ein signifikanter Vorteil gegenüber den untersuchten Handinstrumenten festgestellt werden konnte. Eine Verlagerung des Krümmungsmaximums an der Außenkurvatur wurde ebenfalls durch sämtliche Systeme verursacht. Die Anwendung der manuellen und maschinellen NiTi-

Systeme ergab hier ebenfalls eine signifikant geringere Verlagerung. An der konvexen Krümmung betrug die mittlere Verlagerungsstrecke in Y-Achse jeweils ein Vielfaches des Wertes in X-Achse, so dass für die Außenkrümmung näherungsweise beobachtet werden kann: $\frac{\Delta x_a}{\Delta y_a} > 1$. Dieses Verhältnis betrug für die untersuchten Edelstahlinstrumente 4,9; für die manuellen NiTi-Feilen 189, das FlexMaster-System 106 und das ProFile-System 13.

Dies bedeutet, dass mit steigendem Wert des Verhältnisses der Punkt der größten Krümmung an der Außenkrümmung in zunehmend paralleler Richtung zum oberen Aufbereitungsdrittel verlagert wird.

Insgesamt kann festgestellt werden, dass die Krümmungseigenschaften der Kanäle durch die Bearbeitung mit unterschiedlichen Instrumenten unter den genannten Untersuchungsbedingungen stets, zum Teil statistisch höchst signifikant, verändert werden.

6.2.4. Aufbereitungszeit

Die Zeitvorteile für maschinelle NiTi-Systeme waren unter den vorliegenden Studienbedingungen für die Behandler trotz großer Streubreite hoch signifikant. Die vergleichsweise langen mittleren Aufbereitungszeiten (2403 s bei Hedström, 1607 s bei FlexMaster) sind zurückzuführen auf die absolute Unerfahrenheit der Behandler.

In einer vergleichenden Untersuchung von FlexMaster und K-Flexofiles betrug die mittlere Aufbereitungszeit eines Prüfkörpers mit 28° gekrümmten Kanal 284 s bzw. 323 s und eines Prüfkörpers mit 35° gekrümmten Kanal 273 s bzw. 338 s. In dieser Studie wurden jedoch die Aufbereitungen von einem Behandler ausgeführt, der sowohl in beiden Techniken erfahren war (Schäfer, 2002). Auch für ProFile wurden im Vergleich zu manueller Aufbereitung mit K-Flexofiles erhebliche Zeitvorteile beobachtet (Kum, 2000).

6.2.5. Fragebögen

Über 70% der Behandler gaben in den Fragebögen eine einfachere Erlernbarkeit bei Anwendung der maschinellen Systeme an. Dies deckt sich mit den Er-

gebnissen der besseren Aufbereitungsqualität mit den maschinellen NiTi-Systemen. Eine Mehrheit von etwa 45 % der Behandler fühlte sich jedoch bei Anwendung der manuellen Instrumente sicherer. Dies ist vereinbar mit der Mehrheit von etwa 60% der Behandler, die sich einen Ausbildungsschwerpunkt auf manuellen und maschinellen Aufbereitungstechniken gleichermaßen wünschen.

Es kann daraus abgeleitet werden, dass die initiale Ausbildung zunächst mit manuellen Techniken sinnvoll erscheint, in der weiteren Lehre jedoch auch Kenntnisse mit maschinellen Systemen vermittelt werden sollten.

6.3. Schlussfolgerung

Die Ergebnisse der unter den genannten Bedingungen durchgeführten Studie ermöglichen folgende Schlussfolgerungen:

- Der Vergleich der vier unterschiedlichen Systeme zur Aufbereitung von Wurzelkanälen bestätigt eine Eignung der untersuchten maschinellen Aufbereitungssysteme im In-vitro-Versuch. Die unerfahrenen Behandler waren statistisch signifikant besser in der Lage, die gekrümmten Kanäle unter den geforderten Vorgaben aufzubereiten.
- NiTi-Instrumente waren in Bezug auf den Formerhalt der Kanäle den Edelstahl-Instrumenten überlegen.
- Die zur objektiven Berechnung der Krümmungsparameter entwickelte Methode mittels mathematischer Erfassung der inneren und äußeren Krümmung zeigte eine Zunahme der durchschnittlichen Krümmung und eine Verlagerung der Krümmungsmaxima in apikaler Richtung nach der Aufbereitung durch alle untersuchten Methoden.
- Für die maschinell betriebenen Instrumente war gegenüber den Edelstahlinstrumenten ein hoch signifikanter Zeitvorteil bei der Aufbereitung zu beobachten.
- Den subjektiven Lernerfolg bezeichneten die Behandler bei der Anwendung maschineller Systeme mehrheitlich besser, obwohl sie größere Arbeitssicherheit für die manuelle Aufbereitung angaben. Daher wünscht sich eine große Mehrheit die Ausbildung in beiden Disziplinen.

Zur Bestätigung der in dieser Studie erhobenen Daten sowie zur Erfassung zusätzlicher entscheidender Kriterien wie Frakturhäufigkeit sind weitere Untersuchungen erforderlich.

7. Zusammenfassung

Ziel der vorliegenden Studie war, zwei manuelle und zwei maschinelle NiTi Wurzelkanalaufbereitungs-Systeme in der Anwendung durch ungeübte Behandler in einer prospektiven In-vitro-Studie zu evaluieren. Es wurden dazu jeweils 29 Epoxidharz-Blöcke nach digitalfotografischer Erfassung von den Behandlern mit den verschiedenen Systemen nach einer Arbeitsanweisung aufbereitet. Zudem erhielten die Behandler einen Fragebogen zur subjektiven Beschreibung der untersuchten Systeme. Nach digitaler Überlagerung der Bilder des Ausgangszustandes und nach Aufbereitung wurde das Vorliegen von Zip-, Elbow- und Ledge-Formationen erfasst. Das Ausmaß der Kanaltransportation wurde durch individuelle Anpassung eines Maßstabes an jeweils 22 Stellen evaluiert. Zudem wurde mit einem bislang nicht veröffentlichten Verfahren die Innen- und Außenkurvatur vor und nach Bearbeitung mit einer algebraischen Funktion beschrieben, um anschließend die Berechnung der durchschnittlichen Krümmung, des Krümmungsmaximums und der Verlagerung desselben durch die Instrumentation zu berechnen. Die statistische Auswertung ergab selteneres Auftreten von Ledges, Elbows und Kanalverlagerungen unter Anwendung der maschinellen Systeme ($p < 0,05$). In der detaillierten Untersuchung der Kanaltransportationen ergaben sich signifikant günstigere Werte für das Flex-Master- und ProFile-System. Die Krümmungseigenschaften zeigten neben der Aufbereitungszeit ebenfalls signifikant günstigere Werte für die maschinellen Systeme.

Einleitung

In der modernen Zahnheilkunde nimmt die Wurzelkanalbehandlung einen festen Platz ein. Sie stellt bei richtiger Indikationsstellung und regelrechter Durchführung einen wesentlichen Bestandteil zur Erhaltung eines natürlichen Kauorgans bis an das Lebensende dar.

Ein entscheidender Schritt für eine erfolgreiche Wurzelkanalbehandlung ist die exakte Aufbereitung des Wurzelkanalsystems. Dabei ist mit Sicht auf den gewünschten Langzeiterfolg die kumulative Wirkung von Instrumentation und Desinfektion von besonderer Bedeutung.

Die Wurzelkanalaufbereitung bereitet aufgrund komplexer anatomischer Varianten und gekrümmter Kanäle vor allem im Seitenzahnggebiet häufig Schwierigkeiten. So können zahlreiche Aufbereitungsfehler während der Aufbereitung den Erfolg vereiteln. Sowohl durch frühzeitiges Erlernen verschiedener Techniken als auch durch den Einsatz von Instrumenten unterschiedlichen Designs und Materials und von maschinell betriebenen Systemen soll diese schwierige Aufgabe erleichtert und optimiert werden.

Es war daher das Ziel der vorliegenden Studie, zwei manuelle und zwei maschinelle Wurzelkanalaufbereitungs-Systeme in der Anwendung durch ungeübte Behandler in einer prospektiven In-vitro-Studie zu evaluieren. Zum Einsatz kamen die klassischen Edelstahl-Instrumente Hedström-Feilen und Reamer, manuelle Feilen aus Nickel-Titan, sowie die maschinell vollrotierenden Nickel-Titan-Systeme ProFile und FlexMaster.

Material und Methode

Es wurden dazu jeweils 29 Epoxidharz-Blöcke digitalfotografisch erfasst, randomisiert und von den Behandlern mit den verschiedenen Systemen nach einer Arbeitsanweisung aufbereitet. Zudem erhielten die Behandler einen Fragebogen zur subjektiven Evaluierung der untersuchten Systeme.

Nach erneuter Randomisierung wurden die Blöcke erneut planimetrisch erfasst. Weiterhin wurde unter dem Stereomikroskop die Apikalsituation bewertet. Nach digitaler Überlagerung der Bilder des Ausgangszustandes und nach Aufbereitung mittels einer Bildbearbeitungs-Software wurde das Vorliegen von Zip-, Elbow- und Ledge-Formationen erfasst. Das Ausmaß der Kanaltransportation wurde durch individuelle Anpassung eines Maßstabes an jeweils 22 Stellen evaluiert. Zudem wurde die Innen- und Außenkrümmung vor und nach Bearbeitung mit einer algebraischen Funktion beschrieben, um anschließend die Berechnung der durchschnittlichen Krümmung, des Krümmungsmaximums und der Verlagerung desselben durch die Instrumentation zu berechnen.

Die gewonnenen Daten wurden statistisch nach Überprüfung auf Normalverteilung mittels Kolmogorov-Smirnow-Test, T-Test und Chi-Quadrat-Test nach Pearson ausgewertet.

Ergebnisse

Für die entstandenen ungünstigen Formveränderungen im Kanalverlauf konnten folgende Ergebnisse in ermittelt werden:

- Auftreten eines „zip“: Geringste Häufigkeit bei FlexMaster, insgesamt keine statistische Signifikanz.
- Auftreten eines „elbow“: Rotierende NiTi-Instrumente erzeugten signifikant weniger elbows, als dies bei manueller Aufbereitung der Fall war.

- Auftreten eines „ledge“: Die Bildung von Stufen trat bei den manuellen Aufbereitungsmethoden signifikant häufiger auf, als bei den maschinellen NiTi-Systemen.
- Auftreten eines „transportation“: Die Häufigkeit der Verlagerung des Wurzelkanals unter den verschiedenen Aufbereitungsmethoden wies außer zwischen ProFile und den manuellen Aufbereitungsverfahren keine statistisch signifikanten Unterschiede auf.

In der detaillierten Untersuchung der Kanaltransportationen ergaben sich signifikant günstigere Werte im apikalen Drittel für FlexMaster, im mittleren Drittel für das ProFile-System. Die berechneten Krümmungseigenschaften zeigten in Bezug auf die durchschnittliche Krümmung und das Krümmungsmaximum nach Aufbereitung signifikante Vorteile für die maschinellen Systeme. Eine Verlagerung des Krümmungsmaximums erfolgte ebenfalls in stärkerem Maße durch die manuellen Instrumente.

Die Aufbereitungszeit war bei den manuellen und maschinell betriebenen NiTi-Systemen signifikant verkürzt. Mit dem FlexMaster-System konnte die schnellste Aufbereitung geleistet werden.

Die Auswertung der Fragebögen ergab eine überwiegend positive Resonanz (70,4%) betreffend das einfachere Erlernen für maschinelle Systeme. 44% der Behandler gaben an, bei der Aufbereitung ein sichereres Gefühl mit den manuellen Systemen zu haben. Nur etwa 4% der Befragten wünschten sich einen Ausbildungsschwerpunkt auf manuellen Systemen. Mehrheitlich war eine Ausbildung von maschinellen und manuellen Systemen bevorzugt.

Diskussion

Der Vergleich der vier unterschiedlichen Systeme zur Aufbereitung von Wurzelkanälen bestätigt eine grundsätzliche Eignung der Instrumente im In-vitro-Versuch. Die unerfahrenen Behandler waren statistisch mehrheitlich in der Lage, die gekrümmten Kanäle unter den geforderten Vorgaben aufzubereiten.

Wie in den bereits genannten Studien anderer Autoren waren die NiTi-Instrumente in Bezug auf den Formerhalt der Kanäle den Edelstahl-Instrumenten überlegen.

Die zur objektiven Berechnung der Krümmungsparameter entwickelte Methode mittels mathematischer Erfassung der Randkurven erwies sich als einfach durchführbar und konnte sehr gut zur Gewinnung relevanter Daten eingesetzt werden.

Für die maschinell betriebenen Instrumente war ein Zeitvorteil zu beobachten.

Den subjektiven Lernerfolg bezeichneten die Behandler bei der Anwendung maschineller Systeme mehrheitlich besser, obwohl sie größere Arbeitssicherheit für die manuelle Aufbereitung angaben. Daher wünscht sich eine große Mehrheit die Ausbildung in beiden Disziplinen.

Die vorliegenden Ergebnisse deuten darauf hin, dass ein Training der noch unerfahrenen Behandler bereits im klinischen Phantomkurs mit maschinellen Systemen nicht nur optimierte Aufbereitungsqualitäten verspricht, sondern auch ausdrücklich gewünscht ist.

Schlussfolgerung

Die unerfahrenen Behandler waren statistisch mehrheitlich in der Lage, die gekrümmten Kanäle unter den geforderten Vorgaben aufzubereiten.

Wie in Studien anderer Autoren ebenfalls festgestellt wurde, waren die NiTi-Instrumente in Bezug auf den Formerhalt der Kanäle den Edelstahl-Instrumenten überlegen.

Die zur objektiven Berechnung der Krümmungsparameter entwickelte Methode mittels mathematischer Erfassung der Randkurven zeigte eine Zunahme der durchschnittlichen Krümmung und eine Verlagerung der Krümmungsmaxima in apikaler Richtung nach der Aufbereitung durch alle untersuchten Methoden.

Für die maschinell betriebenen Instrumente war gegenüber den Edelstahlinstrumenten ein signifikanter Zeitvorteil bei der Aufbereitung zu beobachten.

Den subjektiven Lernerfolg bezeichneten die Behandler bei der Anwendung maschineller Systeme mehrheitlich besser, obwohl sie größere Arbeitssicherheit für die manuelle Aufbereitung angaben. Daher wünscht sich eine große Mehrheit die Ausbildung in beiden Disziplinen.

Zur Bestätigung der in dieser Pilotstudie erhobenen Daten sowie zur Erfassung zusätzlicher entscheidender Kriterien wie Frakturhäufigkeit sind weitere Untersuchungen erforderlich.

7.1. Marburger Bibliographie

Untersuchung zur Anwendbarkeit der maschinellen Wurzelkanalaufbereitung im Phantomkurs der Zahnerhaltung

Marheine, A.

Die Wurzelkanalaufbereitung bereitet aufgrund komplexer anatomischer Varianten und gekrümmter Kanäle vor allem im Seitenzahnggebiet häufig Schwierigkeiten, die durch den Einsatz von Instrumenten unterschiedlichen Designs und Materials und von maschinell betriebenen Systemen minimiert werden sollen. Es war daher das Ziel der vorliegenden Studie, zwei manuelle und zwei maschinelle Wurzelkanalaufbereitungs-Systeme in der Anwendung durch ungeübte Behandler in einer prospektiven In-vitro-Studie zu evaluieren. Dazu wurden jeweils 29 Epoxidharz-Blöcke nach digitalfotografischer Erfassung von den Behandlern mit den verschiedenen Systemen nach einer Arbeitsanweisung aufbereitet. Zudem erhielten die Behandler einen Fragebogen zur subjektiven Evaluierung der untersuchten Systeme. Nach digitaler Überlagerung der Bilder des Ausgangszustandes und nach Aufbereitung wurde das Vorliegen von Zip-, Elbow- und Ledge-Formationen erfasst. Das Ausmaß der Kanaltransportation wurde durch individuelle Anpassung eines Maßstabes an jeweils 22 Stellen evaluiert. Zudem wurde mit einem bislang nicht beschriebenen Verfahren die Innen- und Außenkrümmatur vor und nach Bearbeitung mit einer algebraischen Funktion beschrieben, um anschließend die Berechnung der durchschnittlichen Krümmung, des Krümmungsmaximums und der Verlagerung desselben durch die Instrumentation zu berechnen. Die statistische Auswertung ergab selteneres Auftreten von Ledges, Elbows und Transportationen unter Anwendung der maschinellen Systeme ($p < 0,05$). In der detaillierten Untersuchung der Kanaltransportationen ergaben sich signifikant günstigere Werte für das FlexMaster- und ProFile-System. Die Krümmungseigenschaften zeigten neben der Aufbereitungszeit ebenfalls signifikant günstigere Werte für die maschinellen Systeme. Der analytisch-mathematische Ansatz zur Evaluation von Kanalkrümmungen zeigte sich als einfach anwendbar. Unter den Bedingungen der vorliegenden Studie wurden die ursprünglichen Wurzelkanäle in ihrer dreidimensionalen Form unter Anwendung der maschinell betriebenen Systeme besser erhalten, als bei der Aufbereitung mit Edelstahl- oder NiTi-Handinstrumenten.

7.2. Abstract deutsch

Untersuchung zur Anwendbarkeit der maschinellen Wurzelkanalaufbereitung im Phantomkurs der Zahnerhaltung

Zusammenfassung

Marheine, A

Ziel der vorliegenden Studie war, zwei manuelle und zwei maschinelle NiTi-Wurzelkanalaufbereitungs-Systeme in der Anwendung durch ungeübte Behandler in einer prospektiven In-vitro-Studie zu evaluieren. Es wurden dazu jeweils 29 Epoxidharz-Blöcke nach digitalfotografischer Erfassung von den Behandlern mit den verschiedenen Systemen nach einer Arbeitsanweisung aufbereitet. Zudem erhielten die Behandler einen Fragebogen zur subjektiven Evaluierung der untersuchten Systeme. Nach digitaler Überlagerung der Bilder des Ausgangszustandes und nach Aufbereitung wurde das Vorliegen von Zip-, Elbow- und Ledge-Formationen erfasst. Das Ausmaß der Kanaltransportation wurde durch individuelle Anpassung eines Maßstabes an jeweils 22 Stellen evaluiert. Zudem wurde mit einem bislang nicht veröffentlichten Verfahren die Innen- und Außenkurvatur vor und nach Bearbeitung mit einer algebraischen Funktion beschrieben, um anschließend die Berechnung der durchschnittlichen Krümmung, des Krümmungsmaximums und der Verlagerung desselben durch die Instrumentation zu berechnen. Die statistische Auswertung ergab selteneres Auftreten von Ledges, Elbows und Transportationen unter Anwendung der maschinellen Systeme ($p < 0,05$). In der detaillierten Untersuchung der Kanaltransportationen ergaben sich signifikant günstigere Werte für das FlexMaster- und ProFile-System. Die Krümmungseigenschaften zeigten neben der Aufbereitungszeit ebenfalls signifikant günstigere Werte für die maschinellen Systeme.

7.3. Abstract english

Comparative Study of applicability of two Rotary Nickel-titanium Root Canal Systems to unexperienced students in primary clinical education

Abstract

Marheine, A.

The aim of this study was the comparative evaluation of the applicability of two manual and two rotary nickel-titanium root canal preparation systems to unexperienced students. For that purpose the simulated curved root canals of 29 pattern resin training blocks were “endodontically” treated in a standardized scheme by students for each system. In addition the students had to answer a questionnaire to evaluate the subjective findings concerning the four different preparation systems. After digital superimposing the pictures of untreated and treated blocks zip, elbow and ledge aberrations were detected. The degree of canal transportation after treatment was evaluated at each 22 locations by individual adjustment of a standardized scale. A new method was developed to describe the extent of curvatures of inner and outer canal walls before and after treatment. Therefore the canal walls were described as an algebraical function to calculate the curvatures on the average, the curvatures maximum and its dislocation after root canal treatment. The statistical evaluation showed significantly less appearance ($p < 0,05$) of ledges, elbows and transportations when rotary nickel-titanium systems were used. The detailed investigation of canal transportation showed statistically significant improved results for the FlexMaster and ProFile systems. Furthermore there could be found better values concerning the curvatures characteristic and the time of preparation for the use of rotary nickel-titanium systems.

8. Literaturverzeichnis

Ahlquist, M.; Henningsson, O.; Hultenby, K.

The effectiveness of manual and rotary techniques in the cleaning of root canals: a scanning electron microscopy study.

Int Endod J 34: 533-537 (2001)

Al-Omari, M. A.; Bryant, S.; Dummer, P. M.

Comparison of two stainless steel files to shape simulated root canals.

Int Endod J 30: 35-45 (1997)

Al-Omari, M. A.; Dummer, P. M.; Newcombe, R. G.

Comparison of six files to prepare simulated root canals. 1.

Int Endod J 25: 57-66 (1992)

Al-Omari, M. A.; Dummer, P. M.; Newcombe, R. G.; Doller, R.; Hartles, F.

Comparison of six files to prepare simulated root canals. 2.

Int Endod J 25: 67-81 (1992)

Barthel, C. R.

Chlorhexidin als Spüllösung bei der Wurzelkanalbehandlung – Ein ebenbürtiger Ersatz für Natriumhypochlorid?

Endodontie 10: 137-148 (2001)

Barthel, C. R.; Gruber, S.; Roulet, J. F.

A new method to assess the results of instrumentation techniques in the root canal.

J Endod 25: 535-538 (1999)

Baumann, M. A.; Roth, A.

Effect of experience on quality of canal preparation with rotary nickel-titanium files.

Oral Surg Oral Med Oral Pathol Oral Radiol Endod 88: 714-718 (1999)

Bedford-Roberts, E.; Curtis, R. V.; Pitt Ford, T. R.

Cutting pattern of Flexogate instruments in plastic blocks.

Endod Dent Traumatol 13: 228-233 (1997)

Bennekom, van A.; Klenke, K.

Rostfreie Stähle und deren Eigenschaften in Vortragsreihe: Stahlwerkstoffe, deren spezifische Eigenschaften und Wärmebehandlung.

Abrufbar im Internet unter

www.edelstahlprofile.de/pdf/p_haertereikreis_rostfrei_eigenschaften.pdf (2004)

Benzer, S.

The development and morphology of physiological secondary dentin.

J Dent Res 27: 640-646 (1948)

Bergmans, L.; Van Cleynenbreugel, J.; Beullens, M.; Wevers, M.; Van Meerbeek, B. et al.

Smooth flexible versus active tapered shaft design using NiTi rotary instruments.

Int Endod J 35: 820-828 (2002)

Bergmans, L.; Van Cleynenbreugel, J.; Beullens, M.; Wevers, M.; Van Meerbeek, B. et al.

Progressive versus constant tapered shaft design using NiTi rotary instruments.

Int Endod J 36: 288-295 (2003)

Bishop, K.; Dummer, P. M.

A comparison of stainless steel Flexofiles and nickel-titanium NiTiFlex files during the shaping of simulated canals.

Int Endod J 30: 25-34 (1997)

Bramante, C. M.; Betti, L. V.

Comparative analysis of curved root canal preparation using nickel-titanium instruments with or without EDTA.

J Endod 26: 278-280 (2000)

Briseño, B. M.

An anti-zipping preparation system (method and instrument) for curved root canals: A preliminary report.

J Endod 22: 85-89 (1996)

Briseño, B. M.; Sonnabend, E.

The influence of different root canal instruments on root canal preparation: an in vitro study.

Int Endod J 24: 15-23 (1991)

Bryant, S. T.; Dummer, P. M.; Pitoni, C.; Bourba, M.; Moghal, S.

Shaping ability of .04 and .06 taper ProFile rotary nickel-titanium instruments in simulated root canals.

Int Endod J 32: 155-164 (1999)

Bryant, S. T.; Thompson, S. A.; al-Omari, M. A.; Dummer, P. M.;

Shaping ability of Profile rotary nickel-titanium instruments with ISO sized tips in simulated root canals: Part 1.

Int Endod J 31: 275-281 (1998a)

Bryant, S. T.; Thompson, S. A.; al-Omari, M. A.; Dummer, P. M.;

Shaping ability of Profile rotary nickel-titanium instruments with ISO sized tips in simulated root canals: Part 2.

Int Endod J 31: 282-289 (1998b)

Bühl, A.; Zöfel, P.

SPSS Version 10. Einführung in die moderne Datenanalyse unter Windows.

Addison-Wesley, München (2000)

Byström, A.; Sundqvist, G.

Bacteriologic evaluation of the effect of 0,5 percent sodium hypochlorite in endodontic therapy.

Oral surg oral med oral path 55: 307-312 (1983)

Camps, J. J.; Pertot, W. J.

Torsional and stiffness properties of nickel-titanium K files.

Int Endod J 28: 239-243 (1995)

Canalda-Sahli, C.; Brau-Aguade, E.; Berastegui-Jimeno, E.

Torsional and bending properties of stainless steel and nickel titanium Canal Master U and Flexogate instruments.

Endod Dent Traumatol 12: 141-145 (1996)

Carvalho, L. A.; Sonetti, I.; Borges, M. A.

A comparison of molar root canal preparation using stainless-steel and nickel-titanium instruments.

J Endod 25: 807-810 (1999)

Chan, A. W.; Cheung, G. S.

A comparison of stainless steel and nickel-titanium K-files in curved root canals.

Int Endod J 29: 370-375 (1996)

Coldero, L. G.; McHugh, S.; MacKenzie, D. et al.

Reduction in intracanal bacteria during root canal preparation with and without apical enlargement.

Int Endod J 35: 437-446 (2002)

Cohen, S.; Burns, R.

Pathways of the Pulp.

Mosby, Illinois (2000)

Cunningham, W. T.; Balekjian, A. Y.

Effect of temperature on collagen-dissolving ability of sodium hypochloride endodontic irrigant.

Oral surg oral med oral path 49: 175-177 (1980a)

Cunningham, W. T.; Joseph, J. W.

Effect of temperature on the bacterial action of sodium hypochloride endodontic irrigant.

Oral surg oral med oral path 50: 569-571 (1980b)

Davis, R. D.; Marshall, J. G.; Baumgartner, J.C.

Effect of early coronal flaring on working length change in curve canals using rotary nickel-titanium versus stainless steel instruments.

J Endod 28: 438-442 (2002)

Deplazes, P.; Peters, O.; Barbakow, F.

Comparing apical preparations of root canals shaped by nickel-titanium rotary instruments and nickel-titanium hand instruments.

J Endod 27: 196-202 (2001)

Dietschi, J. M.; Dietschi, D.; Krejci, I.

Nickel-titanium rotary instruments: review and strategy for development of a new instrument.

Pract Proced Aesthet Dent 13: 385-389 (2001)

Eggert, C.; Peters, O.; Barbakow, F.

Wear of nickel-titanium lightspeed instruments evaluated by scanning electron microscopy.

J Endod 25: 494-497 (1999)

Ehrlich, D.; Boyer, T. J.; Hicks, L.; Pelleu, G. B.

Effects of sonic instrumentation on the apical preparation of curved canals.

J Endod 15: 200-203 (1989)

Ehrmann, E. H.

Wanted: a standard for the recognition of rotary NiTi instruments.

Int Endod J 35: 215 (2002)

European Society of Endodontology

Consensus report of the European Society of Endodontology on quality guidelines for endodontic treatment.

Int Endod J 27: 115-124 (1994)

European Society of Endodontology

Undergraduate Curriculum Guidelines for Endodontology.

Int Endod J 25: 169-172 (1992)

European Society of Endodontology

Undergraduate Curriculum Guidelines for Endodontology.

Int Endod J 34: 574-580 (2001)

Fariniuk, L. F.; Baratto-Filho, F.; Guerisoli, D. M.; Barbizam, J. V.; Pécora, J. D.; Sousa-Neto, M. D.

Modeling Capacity of ENDOfash Files in Simulated Root Canals.

Braz Dent J 12: 39-42 (2001)

Frentzen, M.

Laser in der Endodontie – eine Übersicht.

ZWR 7/8: 375-390 (2002)

Fritz, U.; Schäfer, M.

Maschinelle Aufbereitung des Wurzelkanalsystems mit dem Canalfinder im Vergleich zur manuellen Instrumentation.

Dtsch Zahnärztl Z 44: 510-512 (1989)

Gambarini, G.

Rationale for the use of low-torque endodontic motors in root canal instrumentation.

Endod Dent Traumatol 16: 95-100 (2000)

Gambarini, G.; Laszkiewicz, J.

A scanning electron microscopic study of debris and smear layer remaining following use of GT rotary instruments.

Int Endod J 35: 422-427 (2002)

Garip, Y.; Gunday, M.

The use of computed tomography when comparing nickel-titanium and stainless steel files during preparation of simulated curved canals.

Int Endod J 34: 452-457 (2001)

Gilles, J. A.; del Rio, C. E.

A Comparison of the Canal Master endodontic instrument and K-type files for enlargement of curved root canals.

J Endod 16: 561-565 (1990)

Glickman, G. N.

Nickel titanium rotary instruments for root canal preparation: are we there yet?

Alpha Omegan 90: 29-38 (1997)

Gluskin, A. H.; Brown, D. C.; Buchanan, L. S.

A reconstructed computerized tomographic comparison of Ni-Ti rotary GT files versus traditional instruments in canals shaped by novice operators.

Int Endod J 34: 476-484 (2001)

Goldberg, F.; Araujo, J. A.

Comparison of three instruments in the preparation of curved root canals.

Endod Dent Traumatol 13: 265-268 (1997)

Hänni, S.; Schöneberger, K.; Peters, O. A.; Barbakow, F.

Teaching an engine-driven preparation technique to undergraduates: initial observations.

Int Endod J 36: 476-482 (2003)

Haïkel, Y.; Serfaty, R.; Wilson, P.; Speisser, J. M.; Allemann, C.
Mechanical properties of nickel-titanium endodontic instruments and the effect of sodium hypochlorite treatment.

J Endod 24: 731-735 (1998a)

Haïkel, Y.; Serfaty, R.; Wilson, P.; Speisser, J. M.; Allemann, C.
Cutting efficiency of nickel-titanium endodontic instruments and the effect of sodium hypochlorite treatment.

J Endod 24: 736-739 (1998b)

Hasselgren, J.; Tronstad, L.

The use of transparent teeth in teaching of preclinical endodontics.

J Endod 1: 278-280 (1975)

Hayes, S. J.; Gibson, M.; Hammond, M.; Bryant, S. T.; Dummer, P. M. H.

An audit of root canal treatment performed by undergraduate students.

Int Endod J 34: 501-505 (2001)

Heckendorff, M.; Hülsmann, M.

Wirkungsweise und Indikationen von Chelatoren in der Endodontie.

ZWR 11: 600-607 (2002)

Heidemann, D.

Endodontie. Praxis der Zahnheilkunde, Band 3. 4. Auflage.

Urban und Fischer, München und Jena (2001)

Hess, W.

Zur Anatomie der Wurzelkanäle des menschlichen Gebisses mit Berücksichtigung der feineren Verzweigungen am Foramen apicale.

Habilitationsschrift Universität Zürich (1917)

Hülsmann, M.; Gambal, A.; Bahr, R.

An improved technique for the evaluation of root canal preparation.

J Endod 25: 599-602 (1999)

Hülsmann, M.; Gressmann, G.; Schäfers, F.

A comparative study of root canal preparation using FlexMaster and HERO 642 rotary Ni-Ti instruments.

Int Endod J 36: 358-366 (2003)

Hülsmann, M.; Weiger, R.

Revision einer Wurzelkanalbehandlung. Wissenschaftliche Stellungnahme der DGZMK.

Dtsch. Zahnärztl. Z. 94: 1286-1288 (2004)

Ingle, J. I.

A standardized endodontic technique using newly designed instruments and filling materials.

Oral Surg Oral Med Oral Pathol 14: 83-91 (1961)

Imura, N.; Kato, A. S.; Hata, G. I.; Uemura, M.; Toda, T. et al.

A comparison of the relative efficacies of four hand and rotary instrumentation techniques during endodontic retreatment.

Int Endod J 33: 361-366 (2000)

Jardine, S. J.; Gulabivala, K.

An in vitro comparison of canal preparation using two automated rotary nickel-titanium instrumentation techniques.

Int Endod J 33: 381-391 (2000)

Ketterl, W.

Revision einer Wurzelkanalbehandlung. Wissenschaftliche Stellungnahme der DGZMK.

Dtsch. Zahnärztl. Z. 49: 192 (1994)

Kimura, Y.; Wilder-Smith, P.; Matsumoto, K.

Lasers in endodontics: a review.

Int Endod J. 33: 173-185 (2000)

Klimm, W.; Buchmann, G.; Zenker, F.; Edelmann, J.

Rasterelektronenmikroskopische Untersuchungen zur Effektivität der feuchten manuellen Wurzelkanalaufbereitung.

Zahn Mund Kieferheilkd Zentralbl 78: 231-234 (1990)

Kröncke, A.

Die Aufbereitung des Wurzelkanals als Voraussetzung für die Applikation des Füllmaterials.

Dt Zahnärztl Z 36: 201-207 (1981)

Kum, K.-Y.; Spangberg, L.; Cha, B. Y.; Il-Yang, J.; Seung-Jong, L.; Chan-Yang, L.

Shaping ability of three ProFile rotary instrumentation techniques in simulated resin root canals.

J Endod 26: 719-723 (2000)

Lam, T. V.; Lewis, D. J.; Atkins, D. R. et al.

Changes in root canal morphology in simulated curved canals over-instrumented with a variety of stainless steel and nickel titanium files.

Aust Dent J 44: 12-19 (1999)

Levy, G.; Abou-Rass, M.

Endodontic file design and dynamics in automated root canal preparation. Concepts, materials and methods.

Alpha Omegan 83: 68-72 (1990)

Lim, T. S.; Wee, T. Y.; Choi, M. Y.; Koh, W. C.; Sae-Lim, V.

Light and scanning microscopic evaluation of Glyde™ File Prep in smear layer removal.

Int Endod J. 36: 336-343 (2003)

Luiten, D. J.; Morgan, L. A.; Baugartner, J. C.; Marshall, J. G.

A comparison of four instrumentation techniques on apical canal transportation.

J Endod 21: 26-32 (1995)

Mandel, E.; Adib-Yazdi, M.; Benhamou, L. M.; Lachkar, T.; Mesgouez, C. et al.
Rotary Ni-Ti profile systems for preparing curved canals in resin blocks: influence of operator on instrument breakage.

Int Endod J 32: 436-443 (1999)

Mayer, B. E.; Peters, O. A.; Barbakow, F.

Effects of rotary instruments and ultrasonic irrigation on debris and smear layer scores: a scanning electron microscopic study.

Int Endod J 35: 582-589 (2002)

Meyer, W; Scheele, E

Die Anatomie der Wurzelkanäle.

Dtsch Zahnärztl Z 9: 497-500 (1954)

Merte, K.

Die Wurzelkanalaufbereitung - handinstrumentell oder maschinell. Teil I - Edelstrahlinstrumente.

ZMK 11, 752-760 (2002a)

Merte, K.

Die Wurzelkanalaufbereitung - handinstrumentell oder maschinell. Teil II - Nickel-Titan-Instrumente.

ZMK 12, 863-868 (2002b)

Merte, K.

Die Wurzelkanalaufbereitung - handinstrumentell oder maschinell. Teil III - Rotierende Instrumente – womit?

ZMK 3, 100 - 110 (2003a)

Merte, K.

Die Wurzelkanalaufbereitung - handinstrumentell oder maschinell. Teil IV – Rotierende Aufbereitung – wie?

ZMK 4, 190 - 208 (2003b)

Mesgouez, C.; Rilliard, F.; Matossian, L. et al.

Influence of operator experience on canal preparation time when using the rotary Ni-Ti ProFile system in simulated curved canals.

Int Endod J 36: 161-165 (2003)

Murgel, C.; Walmsley, A. D.; Walton, R. E.

The efficacy of step-down procedures during endosonic instrumentation.

J Endod 17: 111-115 (1991)

Nagy, C. D.; Bartha, K.; Bernath, M.; Verdes, E.; Szabo, J.

The effect of root canal morphology on canal shape following instrumentation using different techniques.

Int Endod J 30: 133-140 (1997)

Namazikhah, M. S.; Mokhlis, H. R.; Alasmakh, K.

Comparison between a hand stainless-steel K file and a rotary NiTi 0.04 taper.

J Calif Dent Assoc 28: 421-426 (2000)

Oberste-Brandenburg, C.

Ein Materialmodell zur Beschreibung der Austenit-Martensit Phasentransformation unter Berücksichtigung der transformationsinduzierten Plastizität.

Dissertation Universität Essen (1999)

Pataky, L.; Ivanyi, I.; Grigar, A. et al.

Antimicrobial efficacy of various root canal preparation techniques: an in vitro comparative study.

J Endod 28: 603-605 (2002)

Pertot, W. J.; Camps, J.; Damiani, M. G.

Transportation of curved canals prepared with canal master U, canal master U niti, and stainless steel K-type files.

Oral Surg Oral Med Oral Pathol Oral Radiol Endod 79: 504-509 (1995)

Peters, O. A.; Kappeler, S.; Bucher, W.; Barbakow, F.

Maschinelle Aufbereitung gekrümmter Wurzelkanäle: Messaufbau zur Darstellung physikalischer Parameter.

Schweiz Monatsschr Zahnmed 111: 834-842 (2001)

Peters, O. A.; Peters, C. I.; Schönenberger, K.; Barbakow, F.

ProTaper rotary root canal preparation: effects of canal anatomy on final shape analysed by micro CT.

Int Endod J 36: 86-92 (2003)

Pettiette, M. T.; Delano, E. O.; Trope, M.

Evaluation of Success Rate of Endodontic Treatment Performed by Students with Stainless Steel K-Files and Nickel-Titanium Hand Files.

J Endod 27: 124-127 (2001)

Pettiette, M. T.; Metzger, Z.; Phillips, C.; Trope, M.

Endodontic complications of root canal therapy performed by dental students with stainless-steel K-files and nickel-titanium hand files.

J Endod 25: 230-234 (1999)

Poulsen, W. B.; Dove, S. B.; del Rio, C. E.

Effect of nickel-titanium engine-driven instrument rotational speed on root canal morphology.

J Endod 21: 609-612 (1995)

Qualthrough, A. J.; Dummer, P. M.

Undergraduate endodontic teaching in the United Kingdom: an update.

Int Endod J 30: 234-239 (1997)

Rhodes, J. S.; Pitt Ford, T. R.; Lynch, J. A.; Liepins, P. J.; Curtis, R. V.

A comparison of two nickel-titanium instrumentation techniques in teeth using microcomputed tomography.

Int Endod J 33: 279-285 (2000)

Richman, M. J.

The use of ultrasonics in root canal therapy and root resection.

J Dent Med 12: 12-18 (1957)

Roig-Cayon, M.; Basilio-Monné, J.; Abós-Herrándiz, R.; Brau-Aguadé, E.; Canalda-Sahli, C.

A comparison of molar root canal preparations using six instruments and instrumentation techniques.

J Endod 23: 383-386 (1997)

Rödig, T.; Hülsmann, M.; Mühge, M.; Schäfers, F.

Quality of preparation of oval distal root canals in mandibular molars using nickel-titanium instruments.

Int Endod J 35: 919-928 (2002)

Ruddle, C. J.

Nickel titanium rotary systems.

Endod Prac 4, 7-12 (2001)

Schädle, C. W.; Velvart, P.; Lutz, F.

Die Reinigungswirkung verschiedener Wurzelkanalinstrumente.

Schweiz Monatsschr Zahnmed 100: 275-284 (1990)

Schäfer, E.

Root canal instruments for manual use: a review.

Endod Dent Traumatol 13: 51-64 (1997)

Schäfer, E.

Wurzelkanalinstrumente für den manuellen Einsatz: Schneidleistung und Formgebung gekrümmter Kanalabschnitte.

Habilitationsschriften der Zahn-, Mund- und Kieferheilkunde. Quintessenz, Berlin (1998)

Schäfer, E.; Hickel, R.; Geurtsen, W.; Heidemann, D.; Löst, C.; Petschelt, A.; Raab, W.

Wurzelkanalaufbereitungen. Wissenschaftliche Stellungnahme der DGZMK.
Dtsch Zahnärztl Z 55, 730-740 (2000)

Schäfer, E.; Lohmann, D.

Efficiency of rotary nickel-titanium FlexMaster instruments compared with stainless steel hand K-Flexofile - Part 1. Shaping ability in simulated curved canals.
Int Endod J 35: 505-513 (2002a)

Schäfer, E.; Lohmann, D.

Efficiency of rotary nickel-titanium FlexMaster instruments compared with stainless steel hand K-Flexofile - Part 2. Cleaning effectiveness and instrumentation results in severely curved root canals of extracted teeth.
Int Endod J 35: 514-521 (2002b)

Schäfer, E.; Tepel, J.; Hoppe, W.

Properties of endodontic hand instruments used in rotary motion. Part 2. Instrumentation of curved canals.
J Endod 21: 493-497 (1995)

Schilder, H.

Cleaning and shaping the root canal.
Dent Clin North Am 18: 269-296 (1974)

Schrader, C.; Ackermann, M.; Barbakow, F.

Step-by-step description of a rotary root canal preparation technique.
Int Endod J 32: 312-320 (1999)

Schroeder, H. E.

Orale Strukturbioogie – Entwicklungsgeschichte, Struktur und Funktion normaler Hart- und Weichgewebe der Mundhöhle und des Kiefergelenks.
Thieme, Stuttgart (1992)

Schroeder, H. E.

Pathobiologie oraler Strukturen.

Karger, Basel (1997)

Short, J. A.; Morgan, L. A.; Baumgartner, J. C.

A comparison of canal centering ability of four instrumentation techniques.

J Endod 23: 503-507 (1997)

Silverstone, L. M.; Hicks, M. J.

The structure and ultrastructure of the carious lesion in human dentin.

Gerodontology 1: 185-193 (1985)

Sonntag, D.; Delschen, S.; Stachniss, V.

Root canal shaping with manual and rotary Ni-Ti files performed by students.

Int Endod J 36: 715-723 (2003a)

Sonntag, D.; Guntermann, A.; Kim, S. K.; Stachniss, V.

Root canal shaping with manual stainless steel files and rotary Ni-Ti files performed by students.

Int Endod J 36: 246-255 (2003b)

Sonntag, D.; Stachniss, V.

Maschinelle Wurzelkanalaufbereitung mit dem FlexMaster[®]-System.

ZWR 7/8: 391-399 (2002)

Stoll, R.; Behr, V.; Stachniss, V.

MFile[®] - ein neu entwickeltes System für die maschinelle Wurzelkanalaufbereitung. Konzeptvorstellung und erste Untersuchungen.

ZWR 3: 103-112 (2003)

Szep, S.; Gerhardt, T.; Leitzbach, C.; Luder, W.; Heidemann, D.

Preparation of severely curved simulated root canals using engine-driven rotary and conventional hand instruments.

Clin Oral Investig 5: 17-25 (2001)

Tharuni, S. L.; Parameswaran, A.; Sukumaran, V. G.

A comparison of canal preparation using the K-file and Lightspeed in resin blocks.

J Endod 22: 474-476 (1996)

Thompson, S. A.

An overview of nickel-titanium alloys used in dentistry.

Int Endod J 33: 297-310 (2000)

Thompson, S. A.; Dummer, P. M.

Shaping ability of ProFile.04 Taper Series 29 rotary nickel-titanium instruments in simulated root canals. Part 1.

Int Endod J 30: 1-7 (1997a)

Thompson, S. A.; Dummer, P. M.

Shaping ability of ProFile.04 Taper Series 29 rotary nickel-titanium instruments in simulated root canals. Part 2.

Int Endod J 30: 8-15 (1997b)

Tronstad, L.; Barnett, F.; Schwartzben, L.; Frasca, L.

Effectiveness and safety of a sonic vibratory endodontic instrument.

Endod Dent Traumatol 1: 69-76 (1985)

Tronstad, L.; Niemczyk, S. P.

Efficiency and safety tests of six automated devices for root canal instrumentation,

Endod Dent Traumatol 2: 225-261 (1986)

Turpin, Y. L.; Chagneau, F.; Vulcain, J. M.

Impact of two theoretical cross-sections on torsional and bending stresses of nickel-titanium root canal instrument models.

J Endod 26: 414-417 (2000)

Versümer, J.; Hülsmann, M.; Schäfers, F.

A comparative study of root canal preparation using Profile .04 and Lightspeed rotary Ni-Ti instruments.

Int Endod J 35: 37-46 (2002)

Weiger, R.; Brückner, M.; ElAyouti, A.; Löst, C.

Preparation of curved root canals with rotary FlexMaster instruments compared to Lightspeed instruments and NiTi hand files.

Int Endod J 36: 483-490 (2003)

Weine, F. S.

The use of non-ISO-tapered instruments for canal flaring.

Compend Contin Educ Dent 17: 651-656, 658-660, 662-663; Quiz 664 (1996)

Weine, F. S.; Kelly, R. F.; Bray, K. E.

Effect of preparation with endodontic handpieces on original canal shape.

J Endod 2: 298-303 (1976)

Weine, F. S.; Kelly, R. F.; Lio, P. J.

The effect of preparation procedures on original canal shape and on apical foramen shape.

J Endod 1: 255-262 (1975)

West, J. D.; Buchanan, L. S.; Arens, D. E.

New directions in endodontics. Interview by Mark J. Friedman. Compend Contin Educ Dent. 23: 742, 744, 746, 748 (2002)

Wildley, W. L.; Senia, E. S.; Montgomery, S.

Another look at root canal instrumentation.

Oral surg oral med oral path 74: 499 – 507 (1992)

9. Anhang

9.1. Materialverzeichnis

¹ Kunststoffprobekörper	Dentsply Maillefer CH-1338 Ballaigues
² Haltevorrichtung Fotostand	Feintechnische Werkstätten der Philipps-Universität D-35039 Marburg
³ Camedia [®] C2500L Digitalkamera	Olympus Deutschland GmbH D-20097 Hamburg
⁴ Reamer, ISO 15-30	VDW GmbH D-81737 München
⁵ Hedström-Feilen, ISO 15-30	VDW GmbH D-81737 München
⁶ Gates-Glidden-Bohrer	VDW GmbH D-81737 München
⁷ Guttapercha-Spitzen	Roeko Coltène/Whaledent GmbH + Co. KG D-89129 Langenau
⁸ NiTi-K-Feilen, ISO 15-30	VDW GmbH D-81737 München
⁹ FlexMaster [®] NiTi-Feilen	VDW GmbH D-81737 München
¹⁰ Glyde [®] File Prep Gel	Dentsply Maillefer CH-1338 Ballaigues
¹¹ ProFile [®] NiTi-Feilen	Dentsply Maillefer CH-1338 Ballaigues

- | | |
|---|---|
| ¹² Kaltlichtsonde | Feintechnische Werkstätten der
Philipps-Universität
D-35039 Marburg |
| ¹³ Adobe Photoshop® CS | Adobe Systems GmbH
D-85716 Unterschleißheim |
| ¹⁴ CorelDRAW® 11 | Corel GmbH
D-85716 Unterschleißheim |
| ¹⁵ Stereomikroskop Stemi® SV 6 | Carl Zeiss AG
D-73447 Oberkochen |
| ¹⁶ ImageMeasurement | Programmierung
Dr. C. Stachniss-Carp
D-35041 Marburg |
| ¹⁷ Microsoft Excel® XP | Microsoft Deutschland GmbH
D-85716 Unterschleißheim |
| ¹⁸ Derive 5® | Texas Instruments Incorporated
Dallas, Texas 75265, USA |
| ¹⁹ SPSS® for Windows 11.0.0 | SPSS Inc.
Chicago, Illinois 60606, USA |

9.2. Curriculum vitae

Andreas Christian Marheine

geboren am 20. März 1971 in Stuttgart

Eltern

Dr. Christian Marheine, geboren am 26. August 1942 in Stuttgart,

Ursula Marheine, geb. Jäger, geboren am 19. Januar 1945 in Tübingen.

Schulische Ausbildung

1978 - 1981	Grundschule in Stuttgart-Sillenbuch
1981- 1990	Karls-Gymnasium Stuttgart
08. Mai 1990	Allgemeine Hochschulreife

Universitäre Ausbildung

WS 1990/1991	Studium der Zahnmedizin, Philipps-Universität Marburg
SS 1991	Beginn des Studiums der Humanmedizin, Philipps-Universität Marburg
29. März 1993	Ärztliche Vorprüfung
16. September 1994	Erster Abschnitt der Ärztlichen Prüfung
November 1994	Beginn der Promotionsarbeit (Medizin) bei Herrn HD Dr. Reiner Westermann am Institut für Anatomie und Zellbiologie, Leiter: Prof. Dr. Eberhard Weihe, Philipps-Universität Marburg
15. April 1997	Zweiter Abschnitt der Ärztlichen Prüfung
April 1997 bis März 1998	Praktisches Jahr am Universitäts-Klinikum Marburg
19. Mai 1998	Dritter Abschnitt der Ärztlichen Prüfung

SS 1998	Fortführung des Studiums der Zahnmedizin, Philipps-Universität Marburg
30. September 1999	Promotion zum Doktor der Humanmedizin Titel der Dissertation: „Einfluss von chromaffinen Transplantaten und chromaffinen-glialen Co-Transplantaten auf das Striatum MPTP-behandelter Mäuse“
Juli 2001	Beginn der Promotionsarbeit (Zahnmedizin) bei Herrn OA Dr. David Sonntag am Medizinischen Zentrum für Zahn-, Mund- und Kieferheilkunde, Abteilung für Zahnerhaltungskunde, Direktor: Prof. Dr. Vitus Stachniss, Philipps-Universität Marburg
13. November 2001	Zahnärztliche Prüfung
Februar 2002 bis Juli 2003	Arzt im Praktikum an der Abteilung für Mund-, Kiefer- und Gesichtschirurgie, Direktor: Prof. Dr. Dr. Henning Schliephake, Klinikum der Georg-August-Universität Göttingen
seit August 2003	Assistenz-Zahnarzt in der Praxis Dr. Christian Marheine, Stuttgart
1. April 2005	Niederlassung in der Gemeinschaftspraxis für Zahnheilkunde Dr. Christian und Dr. Andreas Marheine, Stuttgart
8. Juli 2005	Abschluss des Postgradualen Studienganges Implantologie mit dem akademischen Grad Master of Science Implantologie, Donau-Universität Krems

9.3. Akademische Lehrer

Meine akademischen Lehrer waren die Damen und Herren Professoren und Dozenten:

Amon, Arnold, Aumüller, Aurich, Austermann, Basler, Bauer, Baum, Beato, Coca, Daut, Dibbets, Engel, Eschenbach, Flores de Jacoby, Friedrich, Fruhstorfer, Fuhrmann, Ganz, Garten, Gemsa, Gente, Geus, Göke, Golenhofen, Gotzen, Gressner, Griss, Gröne, Grzeschik, Haberich, Habermehl, Happle, Hasilik, Havemann, Heß, Hielscher, Hildebrandt, Hilgermann, Hochban, Huifmann, Jacob, Jones, Joseph, Kaffarnik, Karlson, Kern, Kienapfel, Kleine, Klenk, Klose, Knoll, Koolmann, Krause, Kretschmer, Krieg, Kroll, Kummer, Lang, Lange, Lauer, Lehmann, Lennartz, Lorenz, Lotzmann, Lührmann, Maisch, Mannheim, Mengel, Mennel, Meyer-Breiting, Moll, Moosdorf, Müller, Netter, Neurath, Oertel, Perst, Petermann, Pieper, Pohlen, Remschmidt, Riedmiller, Rothmund, Schachtschabel, Schäfer, Schmidt-Rhode, Schmitz-Moormann, Schüffel, Schulz, Seifart, Seyberth, Slenczka, Sonntag, Stachniss, Steiniger, Steinmetz, Stelzel, Stoll, Strempel, Sturm, Thomas, Umstadt, Unsicker, Voigt, Weihe, Wenz, von Wichert, Wiegand, Wilke, Zelder.

9.4. Danksagung

Herrn Dr. David Sonntag danke ich sehr für die Anregung und Überlassung des Themas. Seine stetige Diskussionsbereitschaft, viele Verbesserungsvorschläge, unermüdliche Hilfestellung und zahlreiche Überstunden haben diese Arbeit erst ermöglicht und sehr zum Gelingen beigetragen.

Herr Professor Dr. Vitus Stachniss hat die vorliegende Dissertation ungewöhnlich rasch und überaus genau korrigiert und beurteilt. Viele seiner analytisch konstruktiven Problemlösungen sind in die Dissertation eingeflossen. Entscheidende mathematische Vorschläge und Lösungen wurden von Frau Dr. Cyril Stachniss-Carp erarbeitet. Vielen herzlichen Dank!

Viele Wochenenden, Abendstunden und Freizeit hat mich meine liebe Frau nur vor Literatur, Auswertungen am PC und beim Schreiben gesehen. Vielen Dank für die großartige Toleranz und Motivation.

Meine hoch verehrten Eltern haben mich nicht nur moralisch, sondern auch tatkräftig ohne Unterlass während meiner Studien und wissenschaftlichen Arbeiten unterstützt. Ihnen widme ich diese Dissertation in großer Dankbarkeit.

9.5. Ehrenwörtliche Erklärung

Ich erkläre ehrenwörtlich, dass ich die dem Fachbereich Humanmedizin Marburg zur Promotionsprüfung eingereichte Arbeit mit dem Titel

„Untersuchung zur Anwendbarkeit der maschinellen Wurzelkanalaufbereitung bei ungeübten Behandlern im Phantomkurs der Zahnerhaltung“

im Medizinischen Zentrum für Zahn-, Mund- und Kieferheilkunde der Philipps-Universität Marburg, Klinik für Zahnerhaltungskunde unter Leitung und mit Unterstützung durch Herrn OA Dr. David Sonntag ohne sonstige Hilfe selbst durchgeführt und bei der Abfassung der Arbeit keine anderen als die in der Dissertation aufgeführten Hilfsmittel benutzt habe.

Ich habe bisher an keinem in- und ausländischen Medizinischen Fachbereich ein Gesuch um Zulassung zur Promotion zum Dr. med. dent. eingereicht, noch die vorliegende oder eine andere Arbeit als Dissertation vorgelegt.

Stuttgart, den 14. Dezember 2006